



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH**

# **Millora de les prestacions d'un bioreactor mitjançant l'aplicació de tecnologies per a la indústria 4.0.**

**TREBALL FINAL DE MÀSTER**

**TECNOLOGIES FACILITADORES PER A LA INDÚSTRIA ALIMENTÀRIA I ELS BIOPROCESOS**



**Master on  
Key Enabling  
Technologies**  
4 Food and  
+ Bioprocess

**Autora: Ariadna Izquierdo Pérez**

**Tutors: Rafael Vidal Ferré**

**Marcos Quílez Figuerola**

**14 de juliol de 2018**

## AGRAÏMENTS

A en Marcos Quílez i a en Rafael Vidal per haver-me tutelat el projecte i donar-me idees per millorar l'execució del treball, així com per tota la seva ajuda en el disseny i execució del prototip. Sobretot vull agrair-los la seva dedicació i en definitiva haver-me donat sempre suport durant la realització del projecte.

A l'empresa ENSIS SCIENCES per finançar tot el projecte. També per la llibertat donada per realitzar el disseny i implementar el prototip a les seves instal·lacions. I agrair a tot l'equip (Ramsés, Gerard, Laura, Silvia i Eric) pel seu suport i ànims durant la realització del projecte.

Als meus pares, a en David i a la família per donar-me el recolzament necessari durant la realització del projecte com sempre han fet durant els anys de trajectòria acadèmica.

## RESUM

En aquest projecte, s'ha realitzat l'anàlisi d'un bioreactor de 7 L amb la finalitat d'identificar els possibles aspectes de millora, tant en el muntatge com en els processos fermentatius duts a terme amb aquest. En concret, s'han identificat dos aspectes susceptibles a ser optimitzats: d'una banda el consum excessiu d'aigua que circula pel condensador i d'altra banda, la manca d'un sistema d'avís per prevenir un possible trencament del vas del reactor.

També, s'han realitzat propostes de millora per tal de millorar els aspectes mencionats. Una de les propostes tracta de la realització d'un sistema automatitzat que permeti recircular l'aigua del condensador i en conseqüència abaratir costos i fer el sistema més medioambientalment sostenible. L'altra consisteix en l'enviament d'una notificació al mòbil de la persona responsable del laboratori quan hi ha perill que es produeixi un vessament del brou de cultiu del fermentador. Aquesta última té la finalitat de minimitzar riscos i millorar la seguretat del procés de fermentació. Així mateix, ambdues propostes s'han dissenyat i implementat en forma de prototip en un bioreactor de 7 L en actiu. Finalment s'ha realitzat una primera validació del prototip esmentat, la qual ha sigut exitosa.

## ABSTRACT

In this project, the analysis of a 7 L bioreactor has been carried out in order to identify the possible aspects of improvement in the bioreactor assembly process and in the fermentative processes carried out with the fermenter. Specifically, two aspects susceptible of optimization have been identified: on the one hand, the excessive consumption of water circulating through the condenser and on the other hand, the lack of a warning alarm system to prevent a possible leak in the reactor.

Furthermore, two ideas have been proposed in order to improve the aforementioned aspects. One of the proposals consists of the installation of an automated system that allows to recirculate the water of the condenser. Consequently, it causes a reduction in the costs and it is obtained more environmentally sustainable process. The other improvement involves sending a mobile notification to the smartphone of the laboratory manager when there is a danger that a spill of the fermenter's culture broth will occur. That latter idea is intended to minimize risks and improve the safety of the fermentation process. Likewise, both proposals have been designed and implemented in the form of a prototype in a bioreactor of 7 L in active-duty. Finally, we tested the prototype and the validation was a success.

# ÍNDIX

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓ .....</b>   | <b>6</b>  |
| 1.1 Estructura de la memòria .....  | 7         |
| 1.2 Objectius.....  | 8         |
| <b>2. DESCRIPCIÓ DEL BIOREACTOR .....</b>   | <b>9</b>  |
| 2.1 Especificacions tècniques .....   | 10        |
| 2.1.1 Bioreactor autoclavable .....   | 10        |
| 2.1.1.1 Heat plate .....  | 11        |
| 2.1.1.2 Instrumentació acoblada al heat plate .....                                       | 12        |
| 2.1.2 Sistema intel·ligent (ez-Control Bio Controller).....                               | 15        |
| <b>3. ANÀLISI DELS PUNTS FEBLES DEL SISTEMA ACTUAL ....</b>                               | <b>18</b> |
| 3.1 Circuit obert d'aigua pel condensador.....  | 18        |
| 3.2 Carència d'un sistema d'avís de perill de vessament.....                              | 19        |
| <b>4. PROPOSTES DE MILLORA .....</b>  | <b>21</b> |
| 4.1 Circuit tancat d'aigua pel condensador .....  | 21        |
| 4.1.1 Estat de l'art: sistemes comercials de recirculació d'aigua .....                   | 21        |
| 4.1.2 Proposta per implementar al circuit d'aigua del condensador .....                   | 22        |
| 4.1.2.1 Millora obtinguda per l'optimització proposada.....                               | 24        |
| 4.2 Sistema d'alarma per l'avís de vessament del bioreactor .....                         | 25        |
| 4.2.1 Estat de l'art: sistemes comercials de notificació d'alarmes .....                  | 25        |
| 4.2.1 Anàlisi de les diferents possibilitats per implementar una solució .....            | 28        |
| 4.2.2.1 Tipus de missatge/notificació .....   | 28        |
| 4.2.2.2 Connexió a Internet.....  | 29        |
| 4.2.2.3 Receptor de l'avís.....   | 30        |
| 4.2.2.4 Tipus d'alarma .....  | 30        |
| 4.2.3 Proposta per implementar al sistema de notificació de vessament del bioreactor..... | 31        |
| 4.2.3.1 Tipus de missatge/notificació .....   | 31        |
| 4.2.3.2 Connexió a Internet.....  | 31        |
| 4.2.3.3 Receptor de l'avís.....   | 32        |
| 4.2.3.4 Tipus d'alarma .....  | 32        |
| <b>5. IMPLENTACIÓ DE LES PROPOSTES .....</b>  | <b>33</b> |
| 5.1 Implementació de les propostes de millora.....  | 33        |
| 5.2 Visió general.....  | 33        |
| 5.3 Planificació temporal .....   | 33        |
| 5.4 Circuit tancat d'aigua pel condensador .....  | 35        |
| 5.4.1 Material necessari .....  | 35        |
| 5.4.2 Esquema de les connexions dels sensors i actuadors ....                             | 36        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 5.4.3    | Programació del control del circuit d'aigua del condensador ..... | 39        |
| 5.5      | <b>Sistema de notificació d'avís de perill de vessament.....</b>  | <b>40</b> |
| 5.5.1    | Material necessari .....  | 40        |
| 5.5.2    | Esquema de les connexions .....                                   | 41        |
| 5.5.3    | Configuració del sistema d'alarma.....                            | 42        |
| 5.5.3.1  | <i>Connexió del PLC a la xarxa .....</i>                          | <i>42</i> |
| 5.5.3.2  | <i>Configuració del sistema de notificació .....</i>              | <i>44</i> |
| 6.       | <b>VALIDACIÓ .....</b>  | <b>50</b> |
| 7.       | <b>CONCLUSIONS.....</b>   | <b>53</b> |
| 8.       | <b>PROPOSTES DE FUTUR.....</b>                                    | <b>57</b> |
| 9.       | <b>REFERÈNCIES .....</b>  | <b>58</b> |
| ANNEX I  | .....   | 59        |
| ANNEX II | .....   | 65        |

## 1. INTRODUCCIÓ

Un bioreactor és un sistema que manté un ambient òptim pel creixement de cultius cel·lulars o microorganismes. S'utilitza com una eina per generar productes que s'obtenen a partir de la capacitat de conversió química d'un sistema biològic, ja siguin cèl·lules animals, vegetals o microorganismes.

El disseny d'un bioreactor és un procés complex i la optimització del seu funcionament depèn molt de la seva aplicació i del mode d'operació. Aquest treball té com a finalitat la millora de les prestacions d'un bioreactor destinat a processos de fermentació i es planteja a partir de la meua pròpia experiència en l'operació d'aquest bioreactor.

Des del setembre de 2017, treballo a l'empresa ENSIS SCIENCES S.L. com a responsable del laboratori del Departament de Biotecnologia d'I+D d'ENSIS SCIENCES. Aquesta companyia està focalitzada en:

1. La caracterització genètica de cultius iniciadors.
2. La producció de fórmules funcionals basades en enzims, proteïnes i microorganismes
3. La investigació de solucions "clean label" i conservants naturals per a la indústria alimentària.

Per la investigació i desenvolupament de les tasques esmentades, majoritàriament, s'utilitza un bioreactor de 7 L, del qual m'encarrego jo mateixa de posar-lo en marxa cada vegada que s'ha de fermentar, per tal de realitzar els estudis adients. Degut a l'elevat ús que en feia del bioreactor, vaig pensar que seria interessant intentar optimitzar els processos fermentatius duts a terme amb aquest, aplicant alguna de les tecnologies facilitades impartides durant la realització del màster.

Així doncs, a partir de l'anàlisi en la realització tant del muntatge del bioreactor com durant el procés fermentatiu, vaig identificar dos possibles aspectes susceptibles a ser millorats. Per una banda, vaig adonar-me'n que a cada fermentació es consumia molta aigua, necessària per refrigerar el condensador del bioreactor. D'altra banda, també vaig identificar que no hi havia cap sistema d'avís per prevenir un possible trencament del vas del reactor, com a conseqüència de l'acumulació de pressió dins d'aquest. Aquest avís resultaria molt important en les hores no laborables, en les quals no hi ha personal al laboratori que controli el fermentador i pugui prevenir aquest risc.

Sempre he tingut interès i curiositat en introduir-me en el món de les Tecnologies de la informació i comunicació (TIC), ja que m'agradaria enfocar la meua carrera professional cap a la optimització de bioprocessos seguint el paradigma de la Indústria 4.0, fusionant els coneixements de biotecnologia amb el de les TIC. Aleshores, vaig pensar que seria

interessant intentar optimitzar els aspectes mencionats, aplicant alguna de les tecnologies facilitades impartides durant la realització del màster.

Vaig considerar que per disminuir el consum d'aigua durant les fermentacions, podria recircular l'aigua emprant un sistema automatitzat. Mentre que per tal de prevenir un possible vessament del brou de cultiu del fermentador durant les hores no laborals, podria enviar-me un avís utilitzant una aplicació d'Internet of Things (IoT). En conseqüència, tindria l'oportunitat de posar en pràctica l'ús de tecnologies facilitadores en un cas real de bioprocés. Així mateix, em permetria aprendre nous coneixents com la programació del control d'un sistema automatitzat.

## 1.1 Estructura de la memòria

La present memòria està estructurada en nou capítols. El primer, a mode d'introducció, contextualitza i indica els objectius d'aquest projecte.

El segon capítol descriu el bioreactor utilitzat en aquest treball. Encara que les seves característiques poden consultar-se a la documentació del fabricant, s'ha considerat convenient incloure-les en un capítol on s'expliquin detalladament. La finalitat d'aquesta decisió és que el lector pugui contextualitzar millor l'anàlisi dels punts febles i les millores proposades.

El tercer capítol reporta l'anàlisi realitzat al bioreactor de 7 L, per tal d'identificar els aspectes susceptibles a ser millorats. Al quart, s'indiquen les propostes realitzades per implementar un prototip que doni resposta als punts febles del fermentador, analitzats al capítol anterior. El cinquè, recull la descripció de la implementació del prototip descrit en el capítol anterior. La verificació de la implementació del prototip es descriu al sisè capítol.

Finalment, al setè capítol s'exposen les conclusions del projecte, seguit del vuitè capítol on es proposen idees per millorar el prototip en un futur. Les referències utilitzades durant la realització del projecte s'indiquen al novè capítol.

Aquesta memòria també inclou dos annexos. Per una banda, a l'annex I, es descriu el codi programat per implementar la proposta de recircular l'aigua del condensador. D'altra banda, a l'annex II es recull la descripció del codi programat per implementar la proposta d'enviar una notificació quan hi ha perill de vessament de brou de cultiu del bioreactor.

## 1.2 Objectius

L'objectiu d'aquest treball és la millora d'un bioreactor de 7 litres, operatiu al laboratori d' I+D de biotecnologia de l'empresa ENSIS SCIENCES S.L., aplicant diverses tecnologies facilitadores presentades en aquest màster.

Aquest objectiu general es concreta en els següents objectius parcials:

- Anàlisi i identificació dels aspectes a millorar.
- Proposta d'accions de millora.
- Disseny i implementació de les accions proposades.
- Validació del funcionament de les propostes implementades.



## 2. DESCRIPCIÓ DEL BIOREACTOR

El bioreactor utilitzat en aquest treball és un fermentador de 7 L de fons còncav *Applikon* Z611000710 que s'utilitza per realitzar probes a escala laboratori de l'estudi de diferents soques microbianes d'interès.

L'equip permet el monitoratge i control de paràmetres operacionals com la temperatura, agitació, la pressió parcial d'oxigen i l'addició d'agents correctors (àcid, base i antiescumant).

El monitoratge de la temperatura és possible mitjançant una sonda, i el control es duu a terme gràcies a una manta calefactora que envolta el vas de vidre del reactor mantenint la temperatura de consigna mitjançant un control PID.

El pH es mesura amb una sonda que es calibra abans d'esterilitzar el reactor. El valor de consigna es manté mitjançant l'addició d'àcid (HCl 2 M) i base (NaOH 2 M) gràcies al control PID.

El nivell del brou de cultiu es controla amb una sonda de nivell/escumes que, mitjançant un control ON/OFF actua afegint antiescumant quan es produeixen escumes durant la fermentació.

La concentració d'oxigen dissolt es mesura amb una sonda polarimètrica i el seu el valor s'expressa en percentatge (0 %-100 %). Després de l'esterilització del reactor, es deixa tota la nit polaritzant abans del seu calibratge. El control d'aquest paràmetre sol fer-se a través d'un llaç de control en cascada amb l'agitació (200 rpm-1200 rpm) i la unitat de gasos. Si baixa la concentració d'oxigen respecte a la consigna, s'incrementa l'agitació fins que aquest augment de l'agitació no provoca un augment del percentatge d'aire. En aquest moment s'activa la injecció d'aire que consisteix en un corrent constant d'aire comprimit d'1 vvm provinent d'una bombona. Abans d'introduir l'aire al bioreactor a través de l'sparger, es fa circular per un filtre Millipore de 0.22 micres que l'esterilitza, evitant contaminacions.

La part superior del cos cilíndric del fermentador està tancada per un disc d'acer inoxidable (*head plate*) en el qual s'hi troben els orificis necessaris per a la inoculació, canvi de mitjà, subministraments d'antiescumant, addició d'àcid i base, col·locació de les sondes, dispositiu de presa de mostres, condensador d'humitat per a l'aire efluent i l'entrada d'aire. Així mateix s'hi troba incorporat l'eix d'agitació amb 6 pales tipus Rushton.

La manera d'operar amb el fermentador és en discontinu (*batch*): s'omple el reactor de medi, es tanca, s'esterilitza, s'inocula, es produeix la fermentació i finalment es buida i neteja.

## 2.1 Especificacions tècniques

Bàsicament el sistema consta de les següents parts (Figura 1):

- Un bioreactor autoclavable amb els elements auxiliars apropiats com l'agitador, sensors, deflectors i el sistema d'aeració, etc.
- Un sistema intel·ligent (*ez-Control Bio Controller*) per a la mesura i el control de les variables de procés (pH, temperatures, oxigen dissolt (DO), nivell i velocitat d'agitació), per tal de mantenir les condicions del procés en el punt de consigna.

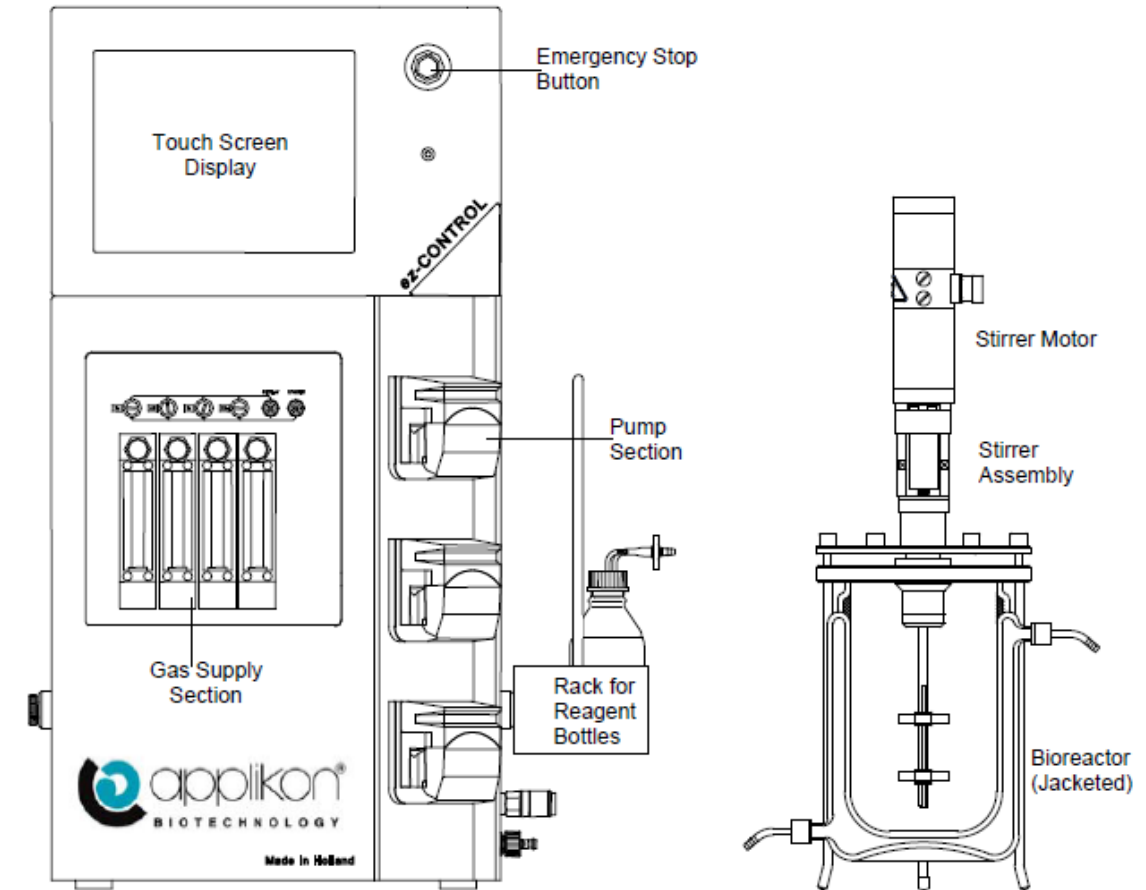


Figura 1: Esquema del conjunt bioreactor autoclavable (dreta) amb el sistema intel·ligent *ez-Control Bio Controller* (esquerra) (Applikon Biotechnology, 2008).

### 2.1.1 Bioreactor autoclavable

El bioreactor és un recipient de vidre autoclavable (Figura 2), una tapa d'acer inoxidable (*heat plate*) i la instrumentació associada. La Taula 1 recull les especificacions del bioreactor utilitzat en aquest treball:

Taula 1: Especificacions tècniques del bioreactor de 7 L model Z611000710 d'Applikon (Applikon Biotechnology, 2008).

| Característica                | Dimensió              |
|-------------------------------|-----------------------|
| <b>Diàmetre intern</b>        | 160 mm                |
| <b>Altura màxima interna</b>  | 350 mm                |
| <b>Màxim volum de treball</b> | 6,9 L (H/D ratio=2,2) |
| <b>Mínim volum de treball</b> | 1,5 L                 |
| <b>Volum de treball</b>       | 5,4 (H/D ratio= 1,8)  |
| <b>Altura general</b>         | 390 mm                |
| <b>Volum total</b>            | 6,8 L                 |
| <b>Pressió mínima</b>         | -1 barg               |
| <b>Pressió màxima</b>         | 0,5 barg              |

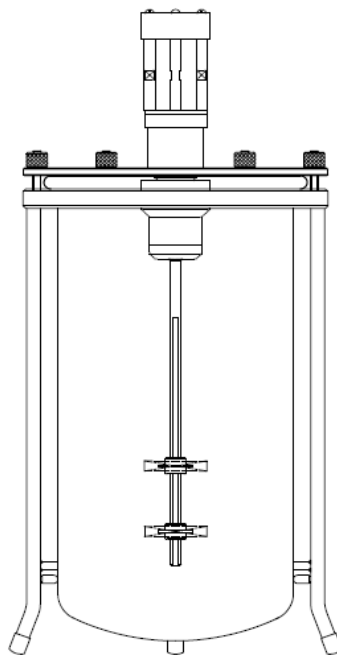


Figura 2: Diagrama del bioreactor de 7L model Z611000710 d'Applikon (Applikon Biotechnology, 2008).

A continuació es detallen els diferents elements que formen part d'aquest bioreactor:

#### 2.1.1.1 Heat plate

El *heat plate* és la tapa d'acer inoxidable que es troba a la part superior del recipient de vidre. Permet tancar hermèticament el reactor per tal de mantenir les condicions d'esterilitat i també conté els ports per les diferents sondes i actuadors necessaris per controlar la fermentació. A la Taula 2 s'indiquen els ports presents al *heat plate*.

*Taula 2: Ports presents al head plate del bioreactor de 7L model Z611000710 d'Applikon (Applikon Biotechnology, 2008).*

| Quantitat | Tipus de port          | Funció del port  |
|-----------|------------------------|--|
| 1         | port central (M30 x 1) | Per a l'assemblatge del motor de l'agitador.               |
| 1         | port (G3/4)            | Per a la sonda d'oxigen dissolt.                           |
| 5         | ports (M 18 x 1,5)     | Per a sensors auxiliars com sondes de pH, mV etc.          |
| 2         | ports (12 mm)          | Per a auxiliars com tubs d'entrada de material.            |
| 10        | ports (10 mm)          | per a auxiliars com deflectors, tub d'injecció d'aire etc. |

### 2.1.1.2 Instrumentació acoblada al heat plate



*Figura 3: Imatge del heat plate del bioreactor de 7L model Z611000710 d'Applikon amb els dispositius ancorats (Applikon Biotechnology, 2008).*

Tot seguit, es descriuen cadascunes de les parts presents al heat plate representades a la Figura 3:

- **Motor d'agitació**

El motor d'agitació emprat és el model Z510000020 . Pot arribar fins a una velocitat d'agitació de 800 rpm, a un màxim de 0,3 Nm i treballa a una corrent de 3 A. La muntura de l'agitador consisteix en un segell magnètic model Z81315MG07.

- **Impulsors**

Es tracta de pales d'agitació tipus Rushton model Z81313R607de 6 fulles de 60 mm de diàmetre.

- **Deflector**

Es col·loquen perpendicularment a la direcció del flux per tal de millorar l'eficiència de la mescla. S'utilitza el model Z81326KS07 els quals presenten una altura de 209 mm, una amplada de 16 mm i un gruix de 2,25 mm.

- **Tub d'injecció d'aire**

Es tracta d'un tub en forma de "L" que bombolleja aire (prèviament filtrat) pel fons del tanc a través de 7 orificis d'1 mm de diàmetre separats 2 mm entre ells. Els orificis es troben a la cara inferior del cilindre per assegurar que el medi de cultiu no s'introdueix al tub d'aeració. El model és el Z81318L007 de 330 mm de longitud.

- **Condensador**

És un tub d'acer inoxidable model Z81309L007 col·locat a la sortida del gas del bioreactor. La temperatura elevada i la utilització de l'aeració del cultiu poden causar massa evaporació durant la fermentació (augment de la concentració de nutrients i disminució del volum). Això es pot prevenir mitjançant l'ús d'un condensador de sortida d'aire.

- **Septe**

És de cautxú de silicona model Z81302PD02 i es pot utilitzar com a port d'addició perforant-lo amb una agulla quan es necessita inocular poc volum d'algun component del medi o bé un gas.

- **Port triple**

Permet equipar un port amb tres entrades que s'utilitzen per introduir àcid, base i antiescumant. Es tracta del model Z81324MT03, que presenta tres ports d'entrada d'1 mm de diàmetre cadascun.

- **Sistema d'extracció de mostra**

S'utilitza aquest dispositiu per extreure mostres durant la fermentació sense haver d'obrir la tapa del bioreactor per tal d'evitar contaminacions. Consisteix en un tub de 320 mm que penja des del *heat plate* fins al fons del tanc, el model del qual és el Z81207SS02 i una peça metàl·lica que es cargola al *heat plate* al costat del tub d'extracció el qual permet connectar una ampolla de 60 ml per recollir la mostra.

- **Termopou**

És una estructura cilíndrica buida que permet introduir la sonda de temperatura perquè no estigui en contacte directe amb la dissolució dins del reactor. És el model Z81317HE0, que presenta una longitud de 315 mm i un diàmetre extern de 10 mm. Per tal de millorar la conductivitat tèrmica el termopou pot omplir-se d'aigua o d'oli de silicona.

- **Sondes**

Disposa de 4 sondes diferents:

- Sonda de pH: Z001023551 sensor de pH+ GEL, L=325 MM amb PG 13,5 fixe.
- Sonda d'oxigen: Z010038510 sensor d'oxigen dissolt L=385 MM; diàmetre= 12 mm.
- Sonda de temperatura: Z034150010 sensor de temperatura Pt-100 L= 200 mm
- Sonda de nivell/d'escumes: Z71205AF03; cable del sensor de nivell/escumes: Z103150010.

- **Altres**

Manta calefactora (Z311020072): es troba embolicada al voltant del bioreactor. La temperatura mitjana màxima que es pot assolir per calor amb una manta de calefactora és de 80 °C.

*Taula 3: Diagrama del heat plate. Distribució i ubicació dels accessoris als ports del heat plate del reactor de 7 L model Z611000710 d'Applikon (Applikon Biotechnology, 2008).*

|  |          |                           |
|--|----------|---------------------------|
|  | Ubicació | Accessori                 |
|  | A        | Sensor OD                 |
|  | B        | Septe                     |
|  | C        | Tap cec                   |
|  | D        | Port triple               |
|  | E        | Sensor de pH              |
|  | F        | Condensador               |
|  | G        | Termopou                  |
|  | H        | Deflector                 |
|  | I        | Tub d'extracció de mostra |
|  | J        | Deflector                 |
|  | K        | Tub d'aeració             |
|  | L        | Deflector                 |
|  | M        | Cargol cec ample          |
|  | N        | Cargol cec prim           |
|  | O        | Cargol cec ample          |
|  | P        | Cargol cec prim           |
|  | Q        | Sensor de nivell/escumes  |
|  | R        | Port d'addició            |
|  | S        | Motor                     |

### 2.1.2 Sistema intel·ligent (ez-Control Bio Controller)

El sistema intel·ligent ez-Control és un dispositiu de pantalla tàctil unit al bioreactor que permet la monitorització i el control de diferents variables de procés. Consta de les següents seccions:

- **Secció de subministrament de gasos**

Està equipada amb dos rotàmetres, un per l'oxigen i altre per aire. El rotàmetre de l'oxigen és el model Z3RM002025 el qual té una esca de 0 a 5 L/min calibrat a 21,1 °C i 1 atm. L'aire es mesura amb el model de rotàmetre Z3RM002016 el qual té una escala de 0 a 500 mL/min calibrat a 21,1 °C i 2 bar manomètrics. Cada sortida de gasos conté una vàlvula reguladora per controlar el subministrament de gasos al reactor.

- **Secció de bombejament:**

Aquest mòdul consta de tres bombes de desplaçament positiu model Z310116060 per l'addició de la dissolució àcida, bàsica i antiescumant. Presenten una velocitat màxima de bombeig de 20 rpm i la quantitat de volum bombejat és de 0,06 mL/rev en una manega de 0,8 mm de diàmetre intern fins 1,7 mL/rev en una de 7,9 mL de diàmetre intern.

- **Connexions I/O i de sensors**

El sistema intel·ligent presenta les següents connexions a la cara lateral:

- Connectors per a sensors:
  - Connector BNC per al sensor de pH
  - Connector BNC per al sensor de DO
  - Connector 3-pin per al sensor de temperatura
  - Connector 2-pin per al sensor de nivell/escumes
- Connexions per al motor:
  - Connector 5-pin per al motor de l'agitador
  - Connector 8-pin per a l'encoder de l'agitador.
- Connector per a la manta calefactora
- 5 connectors per a l'aigua de circulació.

- **Ports de comunicació**

Al darrere, el sistema intel·ligent presenta els següents ports:

- Ports de comunicació
  - Connector Ethernet
  - Port USB (Slave)
  - Dos USB (Master)

- Connectors 9-pin sub-D
- Connectors relacionats amb l'alimentació d'energia.
- Entrades de gasos
- Entrada i sortida d'aigua
- **Entrada d'aigua i de gasos**
- **Sortida d'aigua**
- **Connexió a línia elèctrica i interruptor d'encendre/apagar.**

A les següents Figures 4, 5 i 6, s'esquematitza el sistema ez-Control i s'indica on es troben les seccions esmentades.

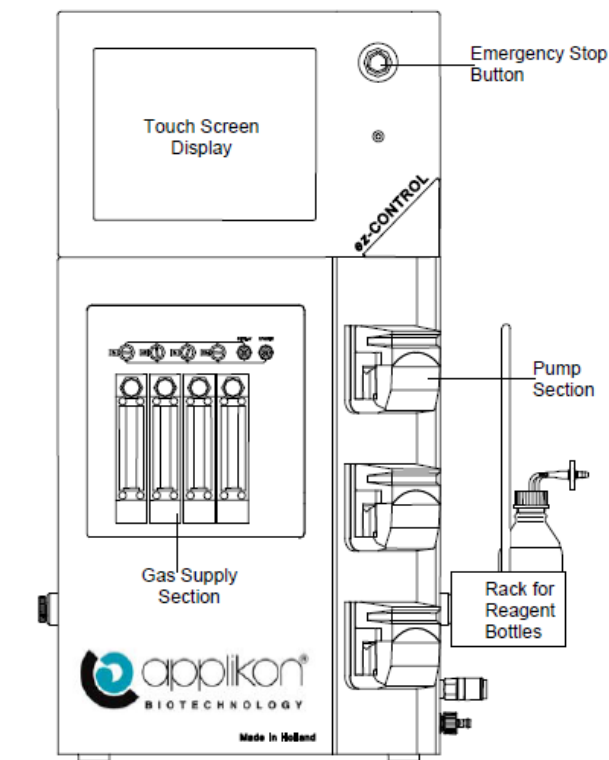


Figura 4: Vista frontal del sistema ez-Control (Applikon Biotechnology, 2008).



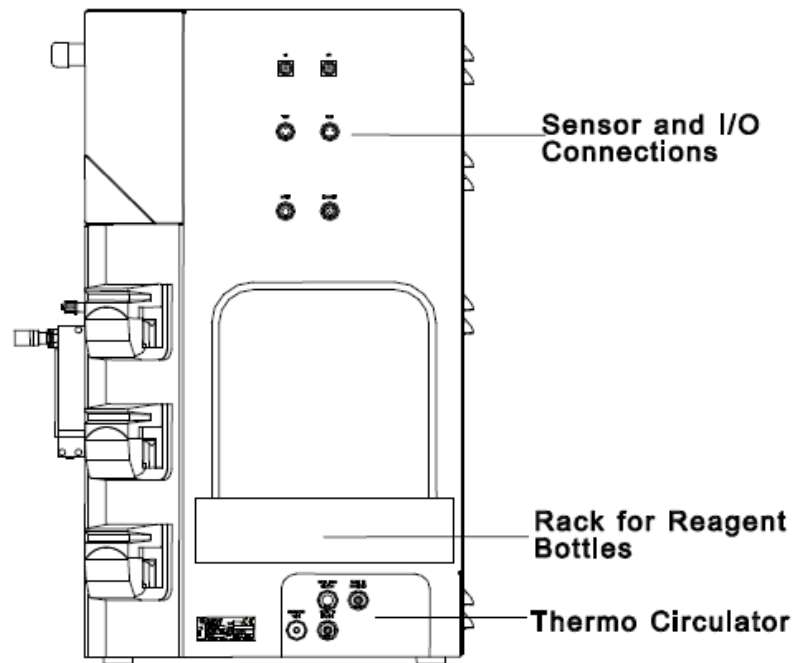


Figura 5: Vista lateral del sistema ez-Control (Applikon Biotechnology, 2008).

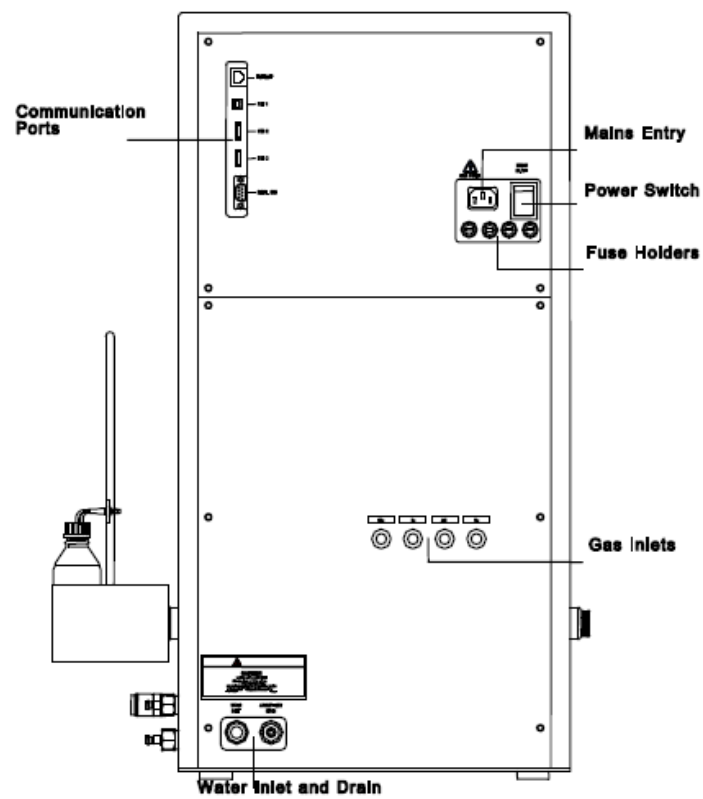


Figura 6: Vista del darrere del sistema ez-Control (Applikon Biotechnology, 2008).

### 3. ANÀLISI DELS PUNTS FEBLES DEL SISTEMA ACTUAL

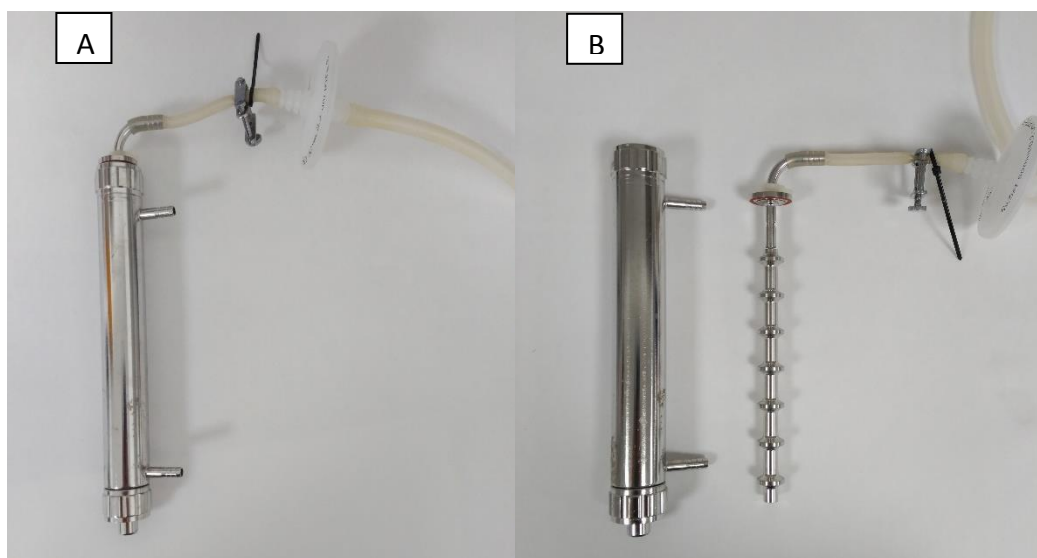
A partir de l'experiència d'usuari pròpia, s'identifiquen dos punts febles que són susceptibles de ser millorats:

1. El circuit obert d'aigua que circula pel condensador.
2. La carència d'un sistema d'avís en cas que vessi el brou de fermentació a causa de l'augment de pressió i formació d'escumes.

#### 3.1 Circuit obert d'aigua pel condensador

El condensador de gas consisteix en un tub d'acer inoxidable amb un altre tub helicoïdal al seu interior, per on circula el medi refrigerant (aigua) que condensa els gasos produïts durant la fermentació (Figura 7).

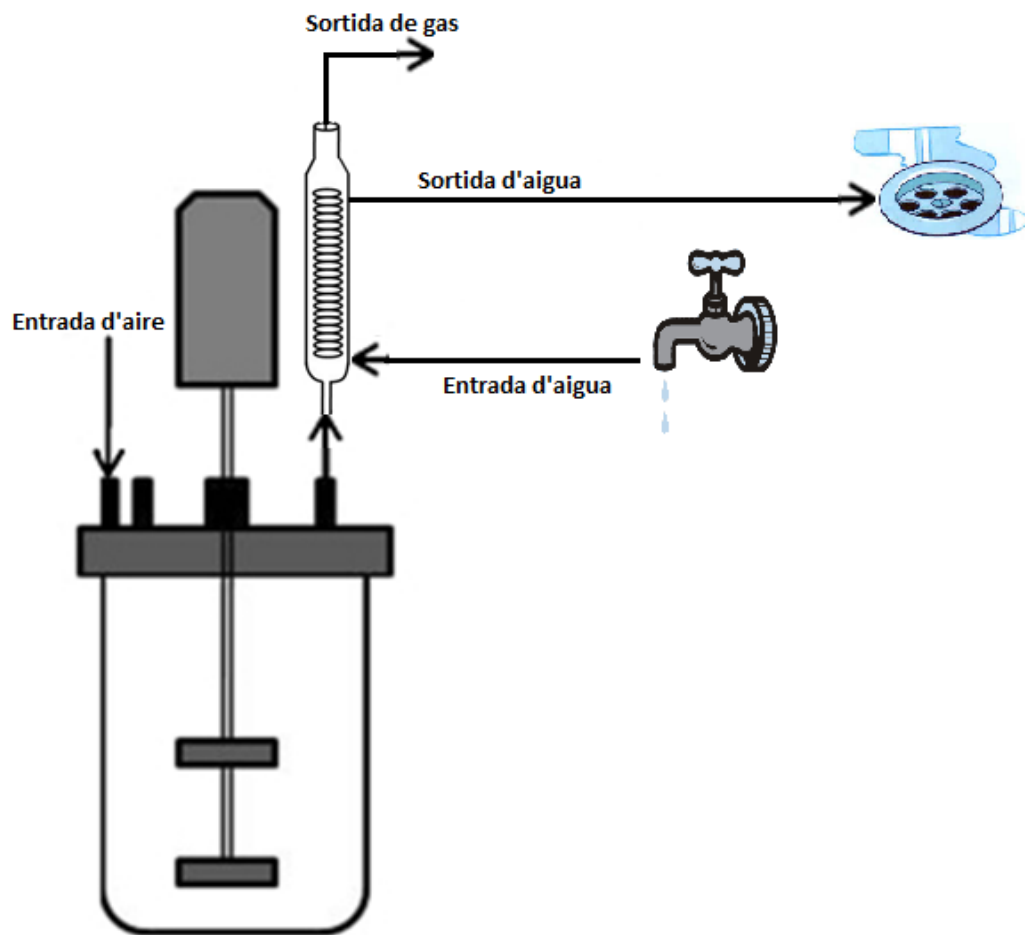
El condensador del gas de sortida del fermentador evita la condensació de l'aigua en el filtre de sortida i el bloqueig resultant del flux de gas de sortida. L'aigua condensada flueix i retorna al tanc. Aquest flux de tornada és important, especialment quan es treballa amb petits volums ja que, si ho hi hagués condensador, la concentració del medi augmentaria i el volum de treball podria disminuir.



*Figura 7: Imatge del condensador real utilitzat en aquest estudi. A) condensador muntat. B) condensador desmuntat.*

El sistema actual consisteix en fer circular aigua a temperatura ambient pel condensador. L'aigua prové d'una aixeta que subministra un corrent d'aigua a una pressió d'entre 1,0 bar i 2,0 bar. L'aigua és introduïda al condensador per l'entrada de la part inferior del tub i recorre el circuit en espiral per dins del condensador. Finalment l'aigua surt per l'extrem superior del condensador i s'aboca directament a un desguàs.

Cal remarcar que aquest circuit obert és continu. És a dir, que mentre perdura la fermentació, constantment entra i surt aigua pel condensador (Figura 8).



*Figura 8: Esquema del circuit d'aigua i de gas pel condensador.*

Així doncs, una possible optimització consistiria en utilitzar un circuit d'aigua tancat que permetés recircular l'aigua en lloc d'enviar-la a la claveguera. Aquest canvi presenta avantatges, tant per motius mediambientals (evita malbaratament d'aigua) com per motius econòmics (estalvia aigua i, en conseqüència, redueix la despesa).

### 3.2 Carència d'un sistema d'avís de perill de vessament

El sistema actual incorpora una sonda de nivell que es troba dins del vas del fermentador, que funciona mitjançant un control ON-OFF. És a dir, si la sonda proporciona una detecció positiva significa que el nivell del brou de cultiu ha augmentat, generalment a causa de la formació d'escumes com a conseqüència d'una agitació i/o aeració vigorosa. Aleshores el control s'activa (ON) i s'afegeixen uns pocs mil·lilitres

d'antiescumant<sup>1</sup> per tal de disminuir les escumes i que el nivell retorni al seu valor inicial. Pel contrari, quan la sonda no indica detecció, significa que el nivell del brou de cultiu és correcte i per tant no s'efectua cap acció (OFF).

Ocasionalment es pot produir un excés d'escumes tant elevat que, malgrat l'addició de l'agent antiescumant, no sigui possible desfer l'escuma generada. En conseqüència, es produeix un augment de la pressió al fermentador que pot derivar en el trencament del vas i, per tant, en el vessament del brou de cultiu. Per aquest motiu, durant la jornada laboral, sempre es vigila que no hi hagi cap problema durant la fermentació, i en el cas que aparegui se soluciona actuant in-situ. Però cal tenir en compte que les fermentacions duren un mínim de 24 h. Com que no hi ha 3 tornos laborals de tècnics de laboratori, durant 14 h el fermentador no presenta cap vigilància.

Si, malauradament, es produís aquesta situació durant les hores en què el bioreactor no està vigilat, el brou de cultiu s'escamparia pel laboratori i, com a conseqüència, es posarien en perill les instal·lacions del laboratori, ja que es podrien contaminar degut la formació de biofilms. A més a més, la producció obtinguda no tindria cap valor perquè ja no seria estèril.

Per eliminar aquest punt feble, es podria implementar un sistema que detectés quan hi ha perill de vessament del brou de cultiu i que avisés a la persona responsable de la fermentació, tant en horari laboral com no laboral. Aquest avís consistiria en un missatge o notificació a un dispositiu mòbil informant que la formació d'escumes és massa elevada i en conseqüència hi ha perill que es produeixi un vessament. La persona receptora de l'avís, podria decidir l'acció correctora necessària per evitar que el bioreactor s'esquerdi i vessi el brou de cultiu, evitant així els danys anteriorment esmentats.

---

<sup>1</sup> L'antiescumant és molt tòxic per les cèl·lules. Per aquest motiu sempre s'ha de procurar introduir la mínima quantitat possible.

## 4. PROPOSTES DE MILLORA

### 4.1 Circuit tancat d'aigua pel condensador

#### 4.1.1 Estat de l'art: sistemes comercials de recirculació d'aigua

Applikon, el fabricant del fermentador emprat, presenta la possibilitat d'instal·lar un sistema termocirculador, mitjançant el qual es regula el circuit d'aigua del condensador i alhora la temperatura del bioreactor.

Aquest termocirculador consta d'una secció addicional que implica la instal·lació d'una camisa que envolta el fermentador, una vàlvula de regulació d'aigua cap al condensador i d'un petit reservori d'aigua que conté una resistència elèctrica per escalfar l'aigua a la temperatura desitjada, el qual es localitzaria dins del biocontrolador ez-Control.

Totes les connexions necessàries per a la instal·lació d'aquesta secció són compatibles i reconegudes pel sistema intel·ligent ez-Control (les connexions es troben a la vista del darrere del biocontrolador, Figura 6) que és l'encarregat de controlar la temperatura i el flux d'aigua.

D'aquesta manera, per una banda el sistema termocirculador s'encarrega de mantenir la temperatura dins de la camisa del reactor: l'aigua que prové d'una línia externa (aixeta) s'introdueix al petit reservori que presenta una resistència elèctrica que s'encarrega d'escalfar-la. Gràcies a l'acció d'una bomba, el fluid és mobilitzat posteriorment a través de la camisa del bioreactor i el circuit es completa quan l'aigua retorna al tanc escalfador. Quan la temperatura del bioreactor es més gran que la de la consigna, el termocirculador purga aigua del sistema intern i introdueix aigua fresca per a reduir la temperatura. També, presenta un sistema de control de nivell que evita el desbordament d'aigua. Aquesta unitat és el model Z310111015 d'Applikon ([Applikon Biotechnology, 2008](#)).

D'altra banda, el sistema descrit presenta una vàlvula de regulació d'aigua dirigida al condensador, la qual està acoblada al circuit d'aigua de refredament del condensador i permet controlar el flux d'aquesta. Aquesta unitat és el model Z310111031 d'Applikon ([Applikon Biotechnology, 2008](#)). Així doncs, al condensador se li acoblen dues mànegues que provenen de la secció del termocirculador del biocontrolador ez-Control. Per una mànega s'introdueix l'aigua freda al condensador i l'altre conté l'aigua que torna cap al biocontrolador. És important destacar que la clau per operar aquesta línia és manual. A la següent Figura 9 es mostra un esquema del circuit d'aigua del sistema termocirculador descrit:

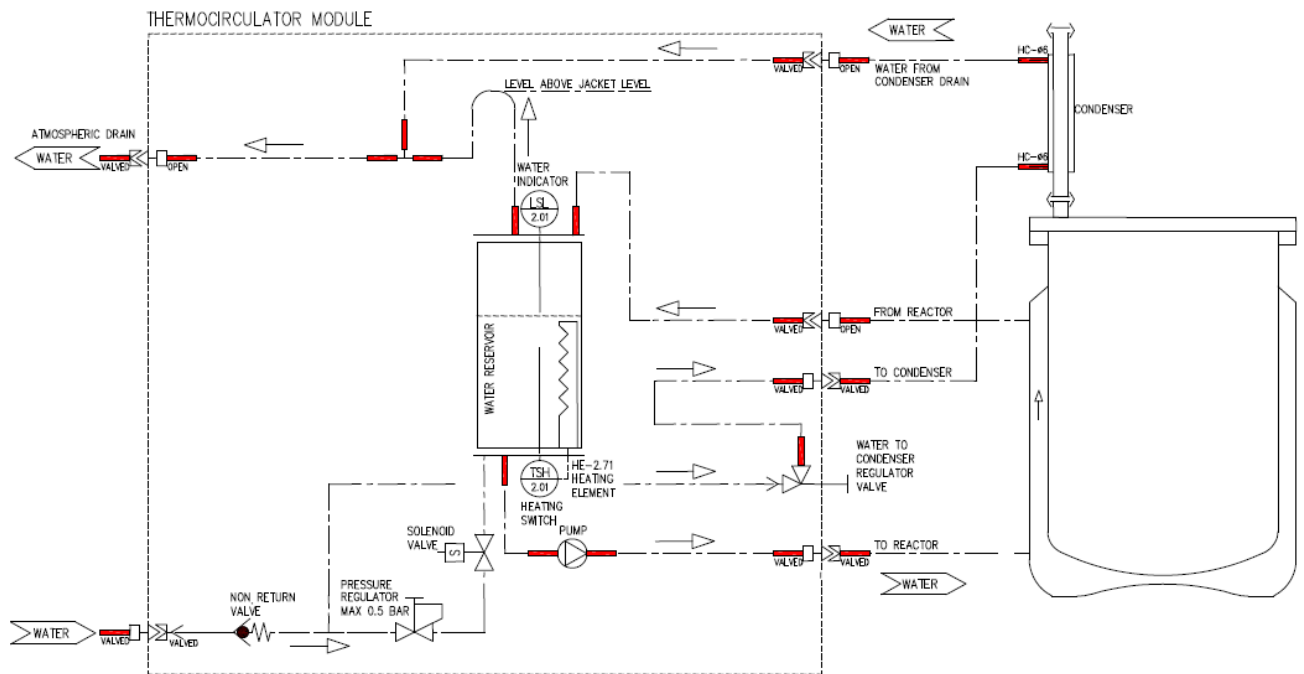


Figura 9: Esquema del circuit d'aigua del sistema termocirculador addicional del reactor de 7 L model Z611000710 d'Applikon (Applikon Biotechnology, 2008).

Cal dir, que si s'implementés aquest sistema, ja no caldria la manta calefactora que s'utilitza actualment, perquè la temperatura del reactor es regularia gràcies a la camisa que l'envoltaria.

La instal·lació del sistema termocirculador descrit s'ha pressupostat per l'empresa VERTEX TECHNICS (comercialitzadors i suport tècnic d'Applikon a Espanya) amb un cost d'aproximadament 3000 €.

#### 4.1.2 Proposta per implementar al circuit d'aigua del condensador

Es descarta l'opció de compra del sistema ofert pel fabricant, degut a l'elevat cost que implicaria la instal·lació d'aquest. Pel contrari, es decideix dissenyar un sistema propi. En concret, es proposa la recirculació de l'aigua que circula pel condensador per tal de generar un circuit tancat d'aigua i en conseqüència disminuir costos econòmics i sobretot mediambientals. La proposta és la següent:

Instal·lar un tanc de 20 L de capacitat amb l'aigua que circularà pel condensador i controlar que la seva temperatura no superi els 35 °C <sup>2</sup>. Aquesta aigua es farà arribar a l'entrada del condensador mitjançant una bomba que impulsarà l'aigua per la mànega dirigida a la entrada del condensador. L'aigua de sortida del condensador tornarà al tanc

<sup>2</sup> Generalment, les fermentacions presenten una temperatura de consigna de 37 °C . Així doncs, perquè la condensació dels vapors sigui efectiva és necessari que l'aigua que circuli pel condensador tingui una temperatura menor a la de la consigna de la fermentació.

per la mànega de sortida mitjançant gravetat (el tanc estaria a menys alçada que el condensador).

Per tal de controlar la temperatura de l'aigua del tanc, s'hi instal·larà una sonda de temperatura connectada a un sistema de control. També s'utilitzaran sensors de nivell per garantir que el nivell d'aigua es manté entre els valors mínim i màxim adients. D'aquesta manera, en cas que l'aigua excedeix la temperatura de consigna (35 °C), s'expulsaria aigua calenta i s'afegiria aigua freda. S'activaria una bomba per buidar el tanc i permetre la sortida de l'aigua del tanc per tal de buidar-lo. Quan el nivell d'aigua fos suficientment baix, s'inactivaria la bomba de buidatge i una electrovàlvula posicionada a l'aixeta permetria l'entrada d'aigua nova al tanc per reomplir-lo. Finalment, quan el nivell del tanc fos suficientment elevat, l'electrovàlvula de l'aixeta es tancaria.

A la següent Figura 10 es mostra un esquema de la proposta esmentada:

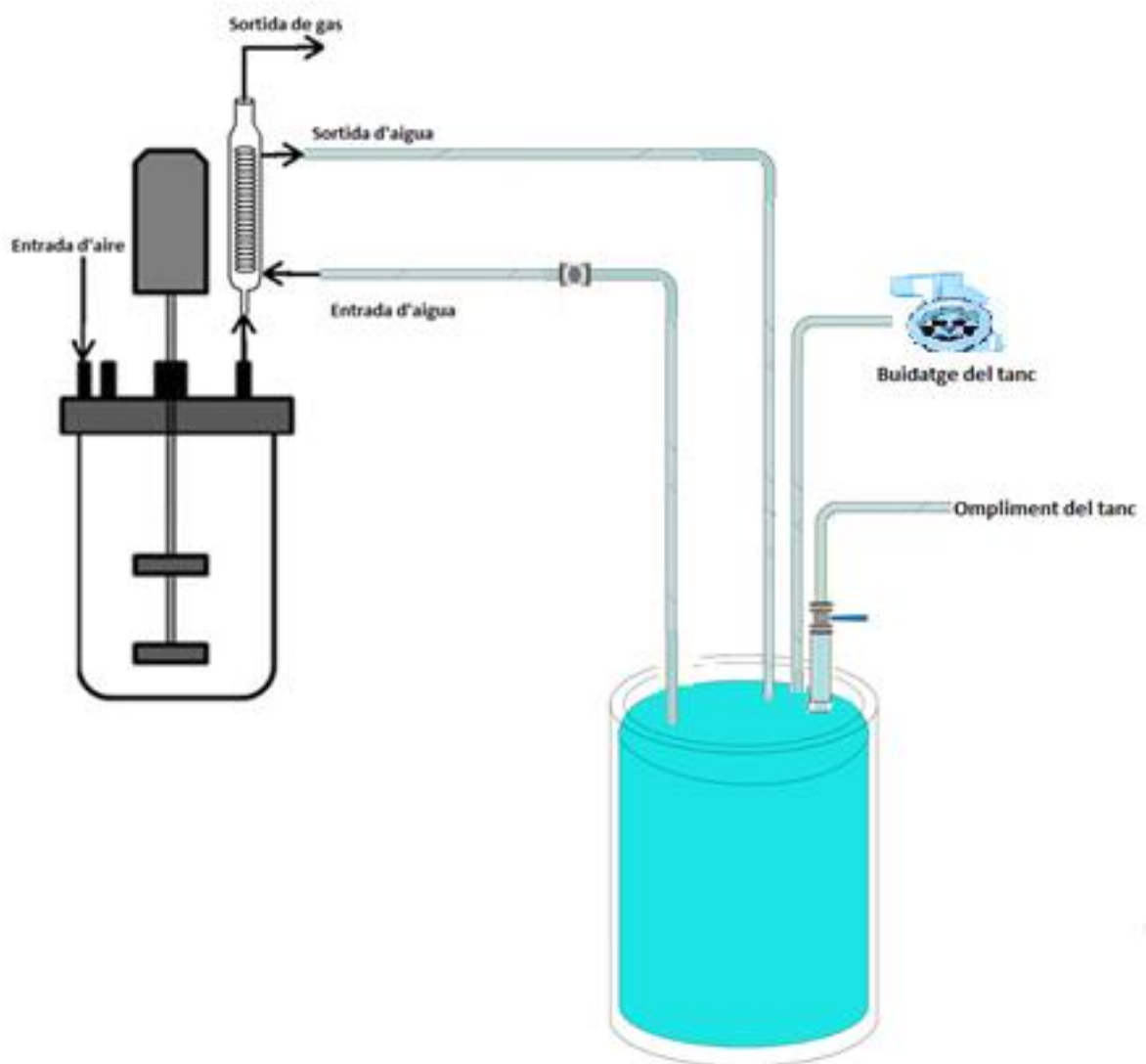


Figura 10: Esquema del circuit tancat d'aigua pel condensador proposat.

#### 4.1.2.1 Millora obtinguda per l'optimització proposada

El cabal d'aigua que circula actualment durant les fermentacions realitzades pel circuit obert del condensador té un cabal aproximat de 9 mL/s. Si és té en compte que com a mínim les fermentacions duren 24 h, els litres d'aigua diaris consumits amb el sistema actual són 778 L.

Gràcies a la implementació d'un circuit tancat d'aigua, només es consumeixen aproximadament 20 L (la grandària escollida del tanc d'emmagatzematge d'aigua) duri el que duri la fermentació, ja que el fluid es recirculat i no es llença contínuament a l'aigüera (ocasionalment es buida el tanc, només en cas que la temperatura de consigna del tanc de reservori d'aigua augmenti en excés).

Per tal de tenir una idea de l'impacte econòmic, s'utilitza el preu d'aigua potable per a ús residencial a la província de Barcelona. Aleshores, sabent que el cost d'1 m<sup>3</sup> d'aigua és de 1,263 €, es pot deduir la despesa econòmica en aigua per cada fermentació que impliquen tant del sistema actual com el sistema proposat, tal i com es mostra a la Taula 4. No obstant, s'ha de tenir compte que el cost real dependrà de la tarifa contractada.

*Taula 4: Comparació econòmica entre el sistema actual (circuit obert d'aigua) i el sistema proposat (circuit tancat d'aigua del cost de l'aigua a cada fermentació realitzada.*

|   | Sistema actual:<br>Circuit obert | Proposta: Circuit<br>tancat |
|---|----------------------------------|-----------------------------|
| <b>Volum d'aigua consumida en una fermentació de 24 h</b> | 778 L                            | 20 L                        |
| <b>Cost de l'aigua consumida</b>                          | 0,98 €                           | 0,025 €                     |

Amb la implementació de la proposta de recirculació de l'aigua, s'aconsegueix un estalvi del 97,44 % en el cost de l'aigua de cada fermentació realitzada.

Així mateix, s'ha de destacar que, a més de l'estalvi econòmic, la implementació del circuit tancat d'aigua proposat també és més respectuós amb el medi ambient, ja que no es deprecia i es llença contínuament aigua per l'aigüera, sinó que s'emmagatzema per reutilitzar-la sempre que sigui possible. Amb el circuit de recirculació s'estalviarien 758 L d'aigua a cada fermentació realitzada. Per tant, el sistema proposat és una solució *environmentally friendly* que proporciona un valor afegit a la proposta.



## 4.2 Sistema d'alarma per l'avís de vessament del bioreactor

Per evitar un possible vessament del brou de cultiu del fermentador durant les hores no laborals, es proposa la realització d'un sistema d'alarma que avisi quan hi ha perill que es produeixi aquest problema.

La idea del funcionament d'aquest sistema consistiria en introduir al tanc un sensor de nivell capaç de detectar escuma. És a dir, si el brou de cultiu o l'escuma arriben al nivell on està ubicat el sensor hauria de proporcionar un senyal de detecció. El sensor estaria connectat a un controlador i, en el cas que es rebí el senyal conforme el brou de cultiu ha sobrepassat el nivell de consigna, enviaria un missatge/notificació al mòbil del responsable de laboratori (que pot ser no es troba al laboratori en aquell precís instant) indicant-li que hi ha un excés de nivell al fermentador i en conseqüència hi ha perill de vessament. D'aquesta manera, aquesta persona pot prendre la decisió que cregui més oportuna, com per exemple avisar a l'equip de seguretat de l'edifici on es troba el laboratori perquè aturi la fermentació.

### 4.2.1 Estat de l'art: sistemes comercials de notificació d'alarmes

Tot seguit es descriu dues possibles solucions comercials existents al mercat que podrien resoldre el problema descrit anteriorment:

Solució comercial 1:

La companyia Telegrafia A.S. comercialitza un sistema d'avís i notificació anomenat *Vektra* amb un hardware adaptable segons les necessitats del client concret (Figura 11). Consisteix en un mode d'avís i notificació autònom i independent amb un control simple que informa automàticament a l'operari corresponent. EL hardware d'aquesta solució presenta una base formada de consola de despatx OPC15, el qual permet predefinir quines persones han de ser avisades en cas de la fallida determinada, ajustar els canals de comunicació i números de mòbil, a més d'ajustar les situacions d'emergència concretes i atribuir-les a persones competents que han de ser avisades en cada cas. D'aquesta manera el/els operaris notificats podran reaccionar de manera immediata, malgrat en aquell precís moment no es trobin localitzats a les instal·lacions on s'ha produït el problema ([Telegrafia A.S.](#)).



Figura 11: Esquema del sistema de comunicació de la solució comercial de Telegrafia A.S. (Telegrafia A.S.).

Esmentar que el departament comercial de Telegrafia A.S. ha comunicat que el preu de la instal·lació d'aquest sistema *Vektra* no és estàndard, ja que és en funció del sistema industrial on s'implementi. Comentar que no s'ha pogut presentar un preu aproximat per aquest projecte.

Solució comercial 2:

La companyia Zoeller proporciona un sistema d'alarma anomenat A-Pak (Figura 12 i 13), que, a diferència de la solució comercial anterior, aquest justament és per advertir d'una situació de nivell de líquid alt. A més de presentar una alarma sonora de 82 dB, també permet enviar un SMS, correu electrònic o notificació "push" a l'operari responsable a través del *cloud* mitjançant el sistema intel·ligent *Z-control* de Zoeller (Figura 14). El cost d'aquest sistema d'alarma A-Pak és de 246,65 €, sense incloure la instal·lació (Zoeller, 2018).

Cal esmentar, que aquest sistema no es podria implementar, ja que no incorpora un sensor d'escumes, sinó que pel contrari, presenta un sensor de nivell de líquid, que a més a més, és d'un material no esterilitzable.



Figura 12: Imatge del sistema d'alarma A-Pak de Zoeller (Zoeller, 2018).



### 4.2.1 Anàlisi de les diferents possibilitats per implementar una solució

Com alternativa a les solucions comercials descrites anteriorment, s'analitzen diferents possibilitats per tal de proposar una solució a mida amb un cost reduït.

En primer lloc, per posar en marxa aquesta proposta, s'ha de tenir en compte les següents qüestions:

1. Quin tipus de notificació s'enviarà al mòbil?
2. Es necessita connexió a Internet per tal d'enviar la notificació de la fallida?
3. A qui anirà dirigit el missatge/notificació?
4. L'alarma de quin tipus serà?

#### 4.2.2.1 Tipus de missatge/notificació

Existeixen diferents alternatives per enviar missatges/notificacions:

- Via SMS
- Via aplicació mòbil:
  - Correu electrònic
  - Servei de missatgeria instantània
  - Eines de comunicació d'equips
- Un possible mode de notificació de l'alarma al mòbil de la persona responsable seria via **SMS** mitjançant el sistema GSM. Presenta l'avantatge que amb total seguretat el missatge arribarà al receptor, encara que pel contrari, no s'assegura quan es rebrà. A més, cal tenir en compte que aquesta opció necessita la contractació d'un operador i assegurar que el dispositiu mòbil que ha de rebre el missatge té cobertura les 24 h del dia.
- Altra alternativa de notificar l'avís de la fallida al receptor és utilitzant **una aplicació mòbil**. Com a conseqüència, és necessari que el dispositiu mòbil receptor del missatge ha de presentar connexió a Internet 24 h, ja sigui per Wi-Fi o bé per 2G/3G/4G (la segona via necessita de la contractació d'un operador). A més, és essencial que el dispositiu mòbil receptor contingui descarregada l'aplicació mitjançant la qual es rebrà la notificació.

L'avantatge general que presenten les aplicacions existents és que s'estalvia tant en costos econòmics com tècnics en la programació de l'aplicació. Tanmateix, la informació rebuda es guardada a l'aplicació utilitzada i per tant no cal gestionar-la posteriorment per emmagatzemar-la. Cal dir, que hi ha diverses aplicacions disponibles que es podrien utilitzar pel sistema descrit, a continuació s'esmenten algunes:

- **Correu electrònic:**

Mitjançant un correu electrònic es pot enviar qualsevol tipus de fitxer (no només text). No obstant, per enviar un correu electrònic cal crear un compte, però aquesta operació és gratuïta.

- **Servei de missatgeria instantània i eines de notificacions:**

En aquest cas, en moltes ocasions, no s'ofereix garantia de lliurament que la notificació arribi al destinatari, malgrat s'hagi enviat l'avís. També, cal tenir en compte que es necessita la contractació d'una línia d'operador ja que els serveis de missatgeria instantània són de terminal a terminal, és a dir, es necessiten associar a un número de mòbil. Alguns exemples de servei de missatgeria instantània són: WhatsApp, Line, Viber, Kakao Talk, Skype. Alguns exemples d'eines de notificacions d'equips són: PushBullet, AirDroid, Pushline, SideSync.

- **Eines de comunicació d'equips:**

De la mateixa manera que els serveis de missatgeria instantània, no és 100 % segur que la notificació arribi al destinatari, malgrat s'hagi enviat l'avís. Alguns exemples d'aplicacions basades en eines de comunicació d'equips són: Twist, Skype d'equips.

#### *4.2.2.2 Connexió a Internet*

Per connectar el sistema a Internet, l'empresa ENSIS SCIENCES presenta la possibilitat de connectar-se a la xarxa per cable via LAN (Ethernet) o bé sense cable via WLAN (Wi-Fi). Cal tenir en compte que ambdues opcions presenten avantatges i desavantatges (Taula 5):

La connexió sense fils mitjançant Wi-Fi presenta els següents avantatges respecte la connexió per cable:

- a) **Facilitat de la instal·lació:** no existeixen cables físics, malgrat per construir la xarxa es necessita un punt d'accés que doni cobertura a tota un àrea.
- b) **Àmplia mobilitat:** permeten moure't per tot el radi de cobertura.
- c) **Instal·lació més econòmica:** requereixen de molta menys inversió que una xarxa per cables, ja que no cal instal·lar cables a tots els punts d'accés que es necessiti connexió a Internet.

No obstant, també presenta desavantatges:

- a) **Menys amplada de banda:** es perd velocitat en la connexió a Internet a causa que es reparteix entre els usuaris connectats. Amb cables de xarxa funcionaria més ràpid, de fet la principal avantatge de la connexió per cable respecte la *wireless* és que permet estar connectat amb el 100 % de l'amplada de banda contractada.
- b) **Inestabilitat:** les xarxes sense fils són més inestables que les cablejades ja que poden veure's afectades per altres ones electromagnètiques i per aparells electrònics propers.
- c) **Pitjor seguretat:** resulta molt més senzill que persones alienes a l'empresa es connectin per problemes de seguretat o pirategin el senyal. Pel contrari la connexió per cable és més segura i per tant és més fiable que la connexió per Wi-Fi (Galloway & Hancke, 2013).

Taula 5: Comparació connexió i sense fils vs connexió per cable.

|                               | Connexió sense fils | Connexió per cable   |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Facilitat instal·lació</b> | Fàcil               | Més costós           |
| <b>Mobilitat</b>              | Possible            | Impossible           |
| <b>Cost</b>                   | Més econòmic        | Menys econòmic       |
| <b>Amplada de banda</b>       | Es perd velocitat   | No es perd velocitat |
| <b>Estabilitat</b>            | Inestable           | Estable              |
| <b>Seguretat</b>              | Menys segur         | Segur                |

#### 4.2.2.3 Receptor de l'avís

El receptor de l'avís al mòbil podria ser el responsable de la fermentació, el responsable del laboratori o bé algú del personal de seguretat de l'edifici. També, caldria tenir en compte la possibilitat que l'avís pogués ser lliurat a més d'una persona.

#### 4.2.2.4 Tipus d'alarma

L'avís al mòbil del receptor seria necessari que fos acústic per tal que s'adonés de l'alarma de fallada, malgrat no estigui en aquell precís moment observant la pantalla del mòbil.

A més, seria interessant que l'alarma fos també visual com a mètode redundant d'avís, ja que és possible que el receptor no hagi escoltat l'alarma sonora i pel contrari, si identifiqui l'alarma visual.

No obstant, cal tenir en compte que l'alarma serà tal com permeti la configuració del sistema operatiu escollit per la recepció de la notificació. Només en el cas que es realitzés una aplicació pròpia es podria dissenyar l'alarma a voluntat.

### 4.2.3 Proposta per implementar al sistema de notificació de vessament del bioreactor

#### 4.2.3.1 Tipus de missatge/notificació

S'implementarà un sistema IoT (*Internet of Things*) de notificació basat en el següent esquema (Figura 15):

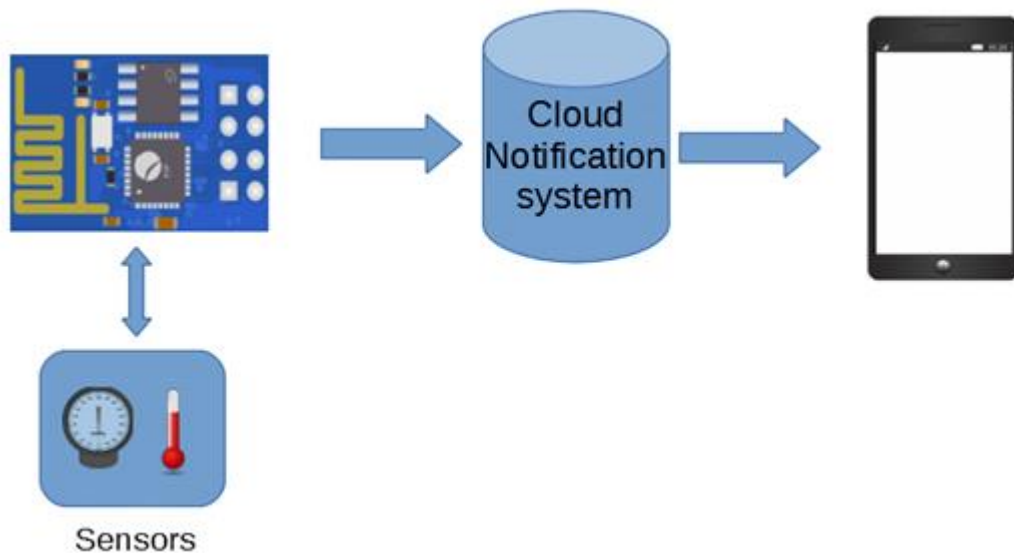


Figura 15: Esquema del sistema IoT de notificació que s'implementarà. Font: (Azzola, 2018).

La dada enviada pel sensor, en aquest cas un sensor de nivell, és recollida pel sistema controlador. Aquest últim envia la dada a un servidor que es troba al *cloud*, des de el qual serà on s'envia la notificació al dispositiu corresponent connectat, en el cas d'aquest projecte a un mòbil.

Aquest sistema de notificació en el *cloud* presenta dos components:

- Una plataforma del *cloud* per activar la notificació anomenada PushingBox, que simplifica el procés d'enviar dades.
- El sistema que envia la notificació als dispositius connectats anomenat PushBullet.

#### 4.2.3.2 Connexió a Internet

Es decideix que la connexió a Internet del sistema proposat seria per cable per les següents raons:

Al laboratori on es vol implementar el sistema s'ha comprovat que hi ha ben a prop una rosseta on connectar el cable Ethernet i només suposaria el cost de comprar un cable



Ethernet (aproximadament 1,80 €), el qual és molt assequible. Tanmateix, la connexió Ethernet és més ràpida, estable i segura. A més, malgrat si bé és cert que la connexió per Wi-Fi permet mobilitat, en aquest cas particular, el fermentador no es pot moure. Per tant, en aquest context la ubicuïtat no és un factor determinant.

#### *4.2.3.3 Receptor de l'avís*

Es defineix que la persona responsable de rebre l'alarma al seu mòbil en el cas que es produeixi el vessament del brou de cultiu del tanc durant les hores no laborals seria el responsable del laboratori.

#### *4.2.3.4 Tipus d'alarma*

Seguint la descripció del punt [4.2.2.3](#), el tipus d'alarma enviat al mòbil corresponent serà rebut com una notificació, per tant s'emetrà un so i s'encendrà el led de notificació del dispositiu.



## 5. IMPLENTACIÓ DE LES PROPOSTES

### 5.1 Implementació de les propostes de millora

En aquest apartat es presenta el disseny i la implementació de les millores plantejades. En primer lloc s'ofereix una visió general del sistema. A continuació s'enumeren les tasques en les que es va dividir l'execució del projecte i la seva planificació temporal. Per últim es descriu de forma detallada els materials emprats, el disseny i els muntatges que han permès posar en funcionament les millores objecte d'aquest treball.

### 5.2 Visió general

Qualsevol de les dues millores plantejades requereix un conjunt de sensors que proporcionin informació sobre les variables d'interès, un conjunt d'actuadors per actuar sobre elles i un controlador que governi els actuadors a partir de la informació proporcionada pels sensors. Com a element controlador s'utilitzarà un autòmat programable industrial (PLC) que disposi dels ports de senyal i dels protocols de comunicació necessaris per a l'aplicació proposada.

Encara que les dues millores plantejades són independents i podrien construir-se com a dos subsistemes separats, totalment independents, és més adient utilitzar un únic PLC que controli ambdós subsistemes. Així doncs, el disseny proposat constarà d'un únic autòmat industrial que permeti la connexió a internet, un conjunt de sensors, un conjunt d'actuadors i els elements d'alimentació elèctrica necessaris per al funcionament de tot el sistema.

### 5.3 Planificació temporal

La planificació temporal de les tasques necessàries per a materialitzar les millores proposades es presenta al diagrama de Gantt de la Taula 6 i Figura 16. Comentar que només s'han contemplat les tasques implicades en les fases del desenvolupament del prototipus.

Taula 6: Organització de les tasques necessàries per dur a terme les propostes. Es mostra per cada tasca, la data d'inici, la data final i la duració d'aquesta.

| NOM TASCA  | DATA D'INICI | DATA FINAL | DURACIÓ (DIES) |
|--|--------------|------------|----------------|
| Compra del material necessari  | 05/04/2018   | 18/04/2018 | 13             |
| Realitzar la connexió de tots els elements implicat al circuit de recirculació de l'aigua del condensador  | 23/04/2018   | 24/04/2018 | 1              |
| Programació del circuit de recirculació de l'aigua del condensador   | 09/04/2018   | 30/04/2018 | 21             |
| Programació del sistema de notificació d'alarma de perill de vessament                                     | 10/04/2018   | 01/05/2018 | 21             |
| Realitzar les connexions dels elements implicats al sistema de notificació d'alarma de perill de vessament | 30/04/2018   | 01/05/2018 | 1              |
| Validació del circuit de recirculació de l'aigua del condensador   | 02/05/2018   | 30/05/2018 | 28             |
| Validació del sistema de notificació d'alarma de perill de vessament de brou de cultiu                     | 02/05/2018   | 30/05/2018 | 28             |
| Correccions necessàries pel funcionament correcte del prototip   | 15/05/2018   | 15/06/2018 | 31             |
| Documentar la implementació del prototip   | 01/06/2018   | 07/07/2018 | 36             |

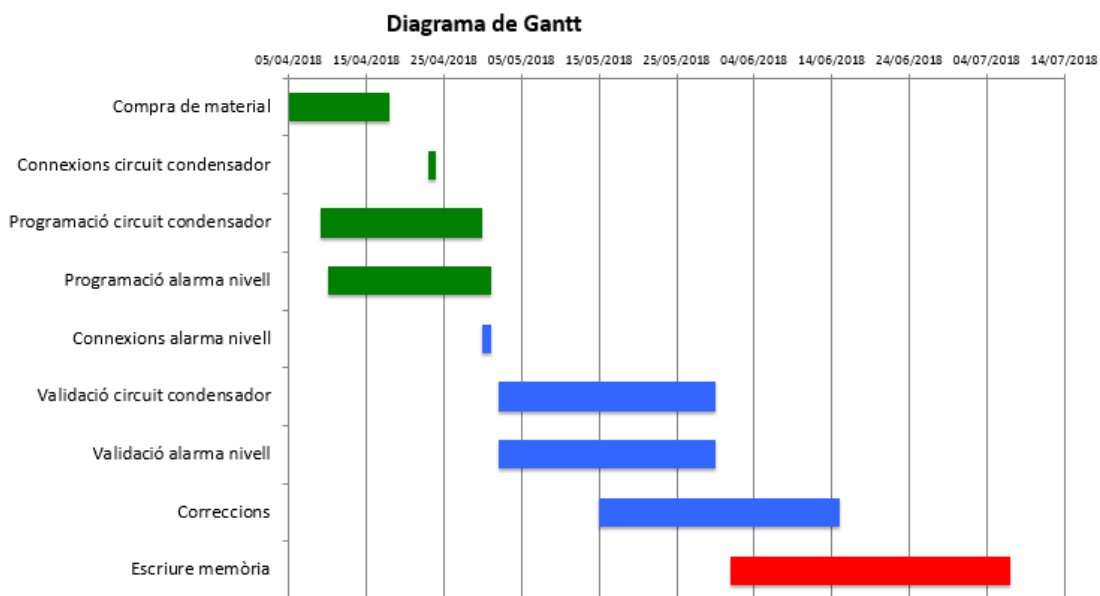


Figura 16: Diagrama de Gantt de l'organització de les tasques per tal de dur a terme les propostes realitzades.

## 5.4 Circuit tancat d'aigua pel condensador

### 5.4.1 Material necessari

El material necessari per a implementar el circuit tancat descrit al punt 4.1.2 es detalla a la llista de la Taula 7, on també s'hi indica el preu i la referència de cada article.

*Taula 7: Llista del material necessari a comprar per tal d'implementar la proposta del circuit tancat d'aigua del condensador. S'indica la referència, el lloc web i el preu de cada producte.*

| Material                       | Referència   | WEB o Lloc de compra  | Preu + IVA €  |
|--------------------------------|--|---|---------------|
| Sonda T <sup>a</sup>           | Sensor De Temperatura DS18B20 Impermeable Sonda Térmica Digital Para Arduino   | <a href="https://www.amazon.es/Temperatura-DS18B20-Impermeable-T%C3%A9rmica-Digital/dp/B01C2I9SQE/ref=sr_1_2?ie=UTF8&amp;qid=1522779853&amp;sr=8-2&amp;keywords=Ds18b20+Sensor">https://www.amazon.es/Temperatura-DS18B20-Impermeable-T%C3%A9rmica-Digital/dp/B01C2I9SQE/ref=sr_1_2?ie=UTF8&amp;qid=1522779853&amp;sr=8-2&amp;keywords=Ds18b20+Sensor</a>   | 3,13          |
| X2 Bomba                       | Max es la Mini Bomba de Agua Ultra Silencioso 300L/H Bomba Sumergible 3W Bomba de Circulación para Pecera Acuario Jardín, Estanque, Fuente | <a href="https://www.amazon.es/Maxesla-Silencioso-Sumergible-Circulaci%C3%B3n-Estanque/dp/B071NNG376/ref=sr_1_4?ie=UTF8&amp;qid=1520796521&amp;sr=8-4&amp;keywords=bomba+agua+acuaria">https://www.amazon.es/Maxesla-Silencioso-Sumergible-Circulaci%C3%B3n-Estanque/dp/B071NNG376/ref=sr_1_4?ie=UTF8&amp;qid=1520796521&amp;sr=8-4&amp;keywords=bomba+agua+acuaria</a>                                 | 2 x 7,99      |
| Electrovàlvula                 | Válvula de solenoide Hydraelectric 72003, 2 puertos , 12 V dc, 1/2plg  | <a href="https://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-solenoide/0342023/">https://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-solenoide/0342023/</a>   | 20,85         |
| X2 Sensor de nivell (flotador) | Stainless Steel 45mm/pp 52mm/Right angle water level pelota float interruptor  | <a href="https://www.ebay.es/sch/i.html?LH_PrefLoc=2&amp;_trkparms=65%253A12%257C66%253A3%257C39%253A1%257C72%253A7076&amp;rt=nc&amp;_nkw=Float+Switch&amp;_trksid=p3286.c0.m14&amp;_sop=15&amp;_sc=1">https://www.ebay.es/sch/i.html?LH_PrefLoc=2&amp;_trkparms=65%253A12%257C66%253A3%257C39%253A1%257C72%253A7076&amp;rt=nc&amp;_nkw=Float+Switch&amp;_trksid=p3286.c0.m14&amp;_sop=15&amp;_sc=1</a> | 2x 2,75       |
| PLC Industiral*                | M-DUINO PLC Arduino Ethernet 19R I/Os Relé / Analógico / Digital PLUS  | <a href="https://www.industrialshields.com/es/product/m-duino-plc-arduino-19r-ios-relay-analog-digital-plus/">https://www.industrialshields.com/es/product/m-duino-plc-arduino-19r-ios-relay-analog-digital-plus/</a>   | 325,49        |
| Cost                           |  |   | <b>370,95</b> |

\*Cal tenir en compte que el PLC utilitzat com a element controlador pel circuit d'aigua del condensador és el mateix PLC utilitzat en la segona proposta: sistema de notificació de nivell del tanc, indicat també a la llista de material (Taula 8). És a dir, encara que el PLC s'ha inclòs en la llista de material d'ambdues propostes, el prototipus construït només necessita un sol PLC.

### 5.4.2 Esquema de les connexions dels sensors i actuadors

Tots els actuadors utilitzats (bombes i electrovàlvula) funcionen amb alimentació contínua de 12 V, de manera que poden utilitzar la mateixa font d'alimentació que el PLC. Per activar-los s'utilitzen les sortides de relé (contactes lliures de tensió ) de l'autòmat. Els sensors de nivell (flotadors) són de tipus ON/OFF i es connecten a entrades digitals del PLC. La sonda de temperatura és un sensor digital i també es connecta a un port digital del PLC.

Totes les connexions s'han realitzat seguint les indicacions del fabricant del PLC ([Industrial Shields, 2016](#)). Per a major claredat, a continuació es presenten uns esquemes simplificats de les connexions de cada element i del sistema complet (Figures 17, 18, 19 , 20 i 21).

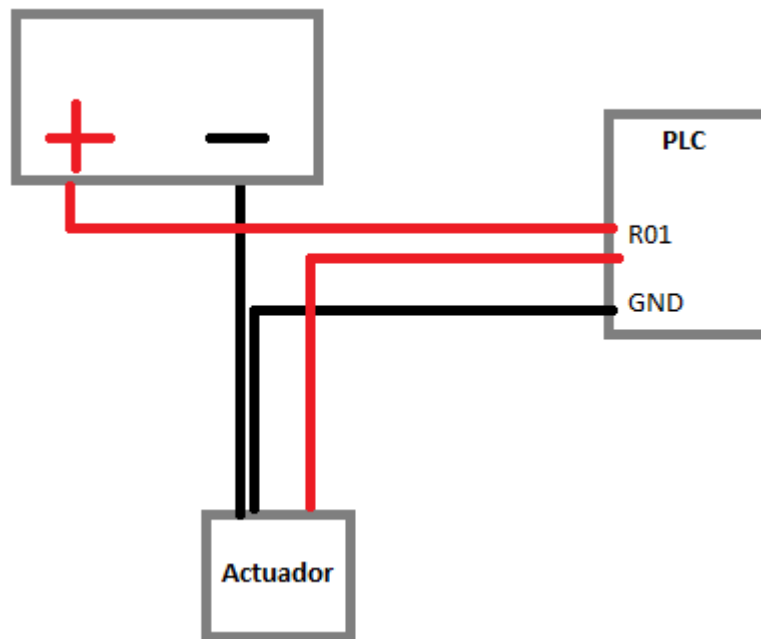


Figura 17: Esquema del circuit elèctric per connectar un actuator al PLC i a l'alimentació.

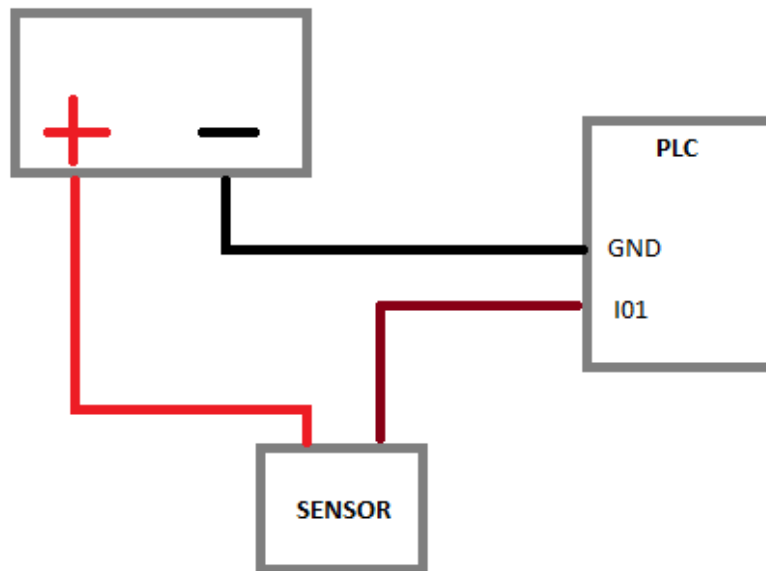


Figura 18: Esquema del circuit elèctric per connectar un sensor de nivell/flotador al PLC i a l'alimentació.

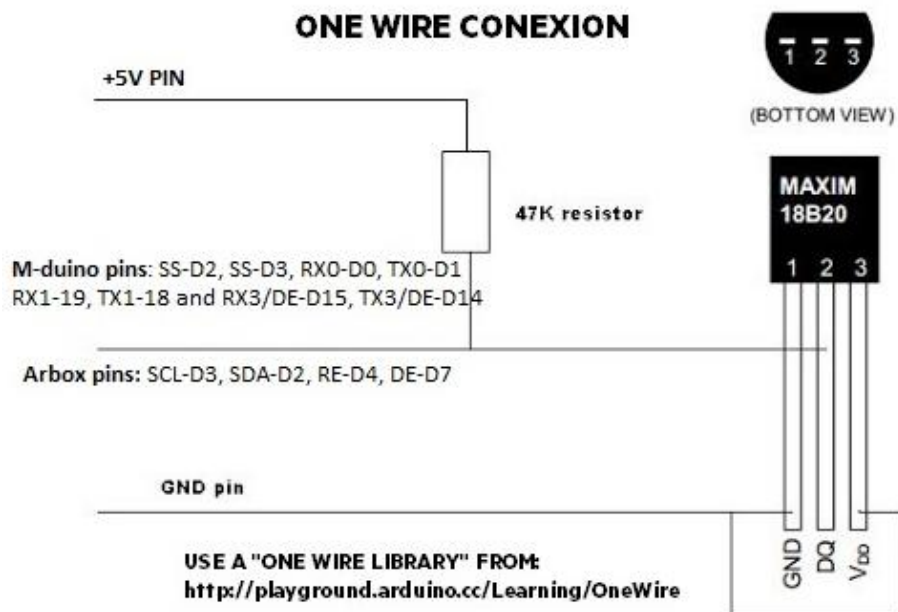


Figura 19: Esquema del circuit elèctric per connectar un sensor de temperatura DS20B18 al PLC i a l'alimentació. (Industrial Shields, 2018).

Tot seguit, es mostra l'esquema de les connexions de tots els elements implicats en el sistema proposat:

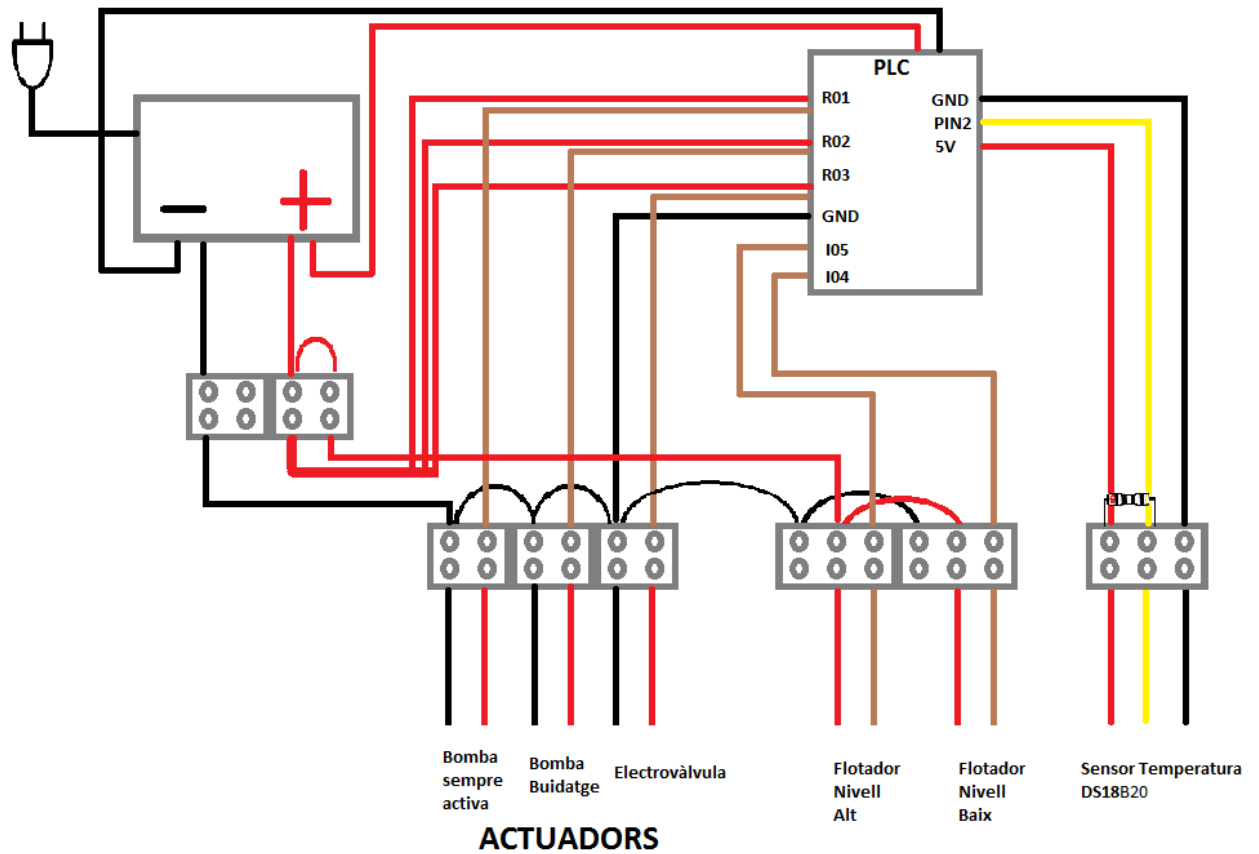


Figura 20: Esquema de totes les connexions per connectar tots els elements actuadors i sensors al PLC i a l'alimentació.

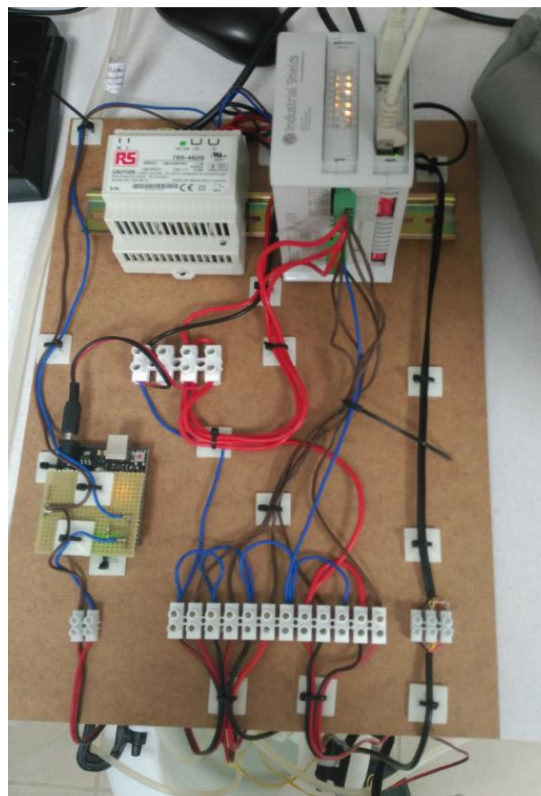


Figura 21: Connexions realitzades per connectar tots els elements actuadors i sensors al PLC i a l'alimentació.

### 5.4.3 Programació del control del circuit d'aigua del condensador

Seguint la proposta desenvolupada al punt 4.1.2, el control del circuit d'aigua ha de presentar el següent funcionament:

- La bomba de circulació d'aigua del condensador ha d'estar sempre en funcionament. Cal activar-la així que arrenca el PLC.
- Quan la temperatura del tanc supera els 35 °C, cal refredar-lo buidant aigua del tanc i permetent l'entrada d'aigua freda. Per fer-ho s'activarà la bomba de buidatge i l'electrovàlvula d'entrada.
- A més a més, caldrà controlar que el nivell de l'aigua del tanc no superi els valors mínim i màxim permesos.
  - Quan el sensor de nivell inferior (flotador) detecti que el nivell és inferior al mínim es desactivarà la bomba de buidatge i s'obrirà l'electrovàlvula d'entrada.
  - Si el sensor de nivell superior detecta que el nivell supera el màxim, es tancarà l'electrovàlvula d'entrada i s'activarà la bomba de buidatge.
  - Quan el nivell de l'aigua del tanc sigui correcte (superior al nivell mínim i inferior al nivell màxim) es desactivarà tant l'electrovàlvula com la bomba de buidatge.

A continuació, es presenta el pseudocodi simplificat d'aquest control de temperatura i nivell de l'aigua del tanc:

```
If      Temperatura > llindarTemperatura AND sensorNivellInferior > mínim
      d'aigua OR sensorNivellSuperior > Màxim d'aigua {
      bombaBuidatge → activar
} else {
      bombaBuidatge → inactivar
}
If      Temperatura > llindarTemperatura AND sensorNivellAlt < màxim d'aigua
      OR sensorNivellInferior < mínim d'aigua {
      electrovalvula → activar
} else {
      electrovalvula → inactivar
}
```

Seguint el pseudocodi anterior, es realitza la programació del PLC perquè controli els elements actuadors segons les dades recollides pels sensors (veure Annex I).

## 5.5 Sistema de notificació d'avís de perill de vessament

### 5.5.1 Material necessari

A la següent Taula 8 s'indica la llista de material necessari per implementar la proposta d'enviar un avís quan hi ha perill que es produeixi un vessament del brou de cultiu, (sistema descrit al punt 4.2.3):

*Taula 8: Llista del material necessari a comprar per tal d'implementar la proposta del sistema de notificació de nivell alt de tanc. S'indica la referència, el lloc web i el preu de cada producte.*

| Material                     | Referència  | WEB o Lloc de compra  | Preu € + IVA  |
|------------------------------|---|---|---------------|
| PLC Industrial *             | M-DUINO PLC Arduino Ethernet 19R I/Os Relé / Analógico / Digital PLUS                                   | <a href="https://www.industrialshields.com/es/product/m-duino-plc-arduino-19r-ios-relay-analog-digital-plus/">https://www.industrialshields.com/es/product/m-duino-plc-arduino-19r-ios-relay-analog-digital-plus/</a>   | 325,49*       |
| Cable Ethernet               | NanoCable 10.20.0401 - Cable de red Ethernet RJ45 Cat.6 UTP AWG24, 100% cobre, Gris, latiguillo de 1mts | <a href="https://www.amazon.es/NanoCable-10-20-0401-Cable-Ethernet-latiguillo/dp/B00AKBSB1E/ref=sr_1_1?ie=UTF8&amp;qid=1520631380&amp;sr=8-1&amp;keywords=cable+utp+cat+6+1m">https://www.amazon.es/NanoCable-10-20-0401-Cable-Ethernet-latiguillo/dp/B00AKBSB1E/ref=sr_1_1?ie=UTF8&amp;qid=1520631380&amp;sr=8-1&amp;keywords=cable+utp+cat+6+1m</a> | 1,80          |
| Alimentador 12 V             | Fuente de alimentación de montaje en carril DIN, Modo conmutado, 24W, 1 salida 2A, 10.8V dc a 13.2V dc  | <a href="https://es.rs-online.com/web/p/fuentes-de-alimentacion-de-montaje-en-panel-y-carril-din/7654629/">https://es.rs-online.com/web/p/fuentes-de-alimentacion-de-montaje-en-panel-y-carril-din/7654629/</a>   | 32,08         |
| Omega de carril Din          | Carril DIN Fibox MIV 5, En U, long. 50mm, anch. 35mm, alt. 7.5mm  | <a href="https://es.rs-online.com/web/p/carriles-din/1882162/">https://es.rs-online.com/web/p/carriles-din/1882162/</a>   | 3,68          |
| Sonda d'escuma               | Z71205AF03  | L'actual sonda del bioreactor d'Applikon on s'aplicarà la proposta  | -             |
| x2 Connectors banana de 2 mm | -Dh 09.10 Banana mini vermella<br>- Dh 09.10 Banana mini negra  | Tenda: Sevilla Radio Badalona   | 1,74          |
| Cost                         |   |   | <b>364,79</b> |

El fermentador disposa d'un sistema per detectar la formació d'escuma. Aquest detector consisteix en un sensor capacitiu i l'electrònica necessària per a llegir el sensor. Donat que no es té l'accés a l'electrònica del fermentador, s'utilitza únicament el sensor capacitiu de la sonda d'escuma i s'afegeix a aquesta l'electrònica necessària per a

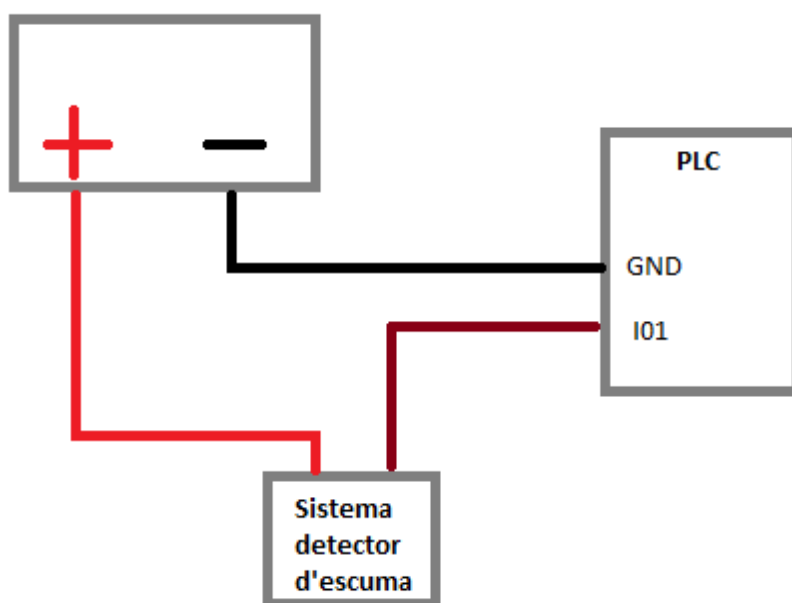


connectar-la al PLC. Aquesta electrònica permet detectar els canvis en la capacitat elèctrica del sensor deguts a la presència d'escuma i envia un nivell lògic 1 al PLC quan es detecta escuma i un nivell lògic 0 quan no se'n detecta. L'electrònica del sensor construït utilitza com a base una placa Arduino UNO i la llibreria "Capacitive Sensing" (Arduino, 2011).

\* Esmentar que el PLC utilitzat com a element controlador del sistema de notificació de nivell del tanc, és el mateix PLC utilitzat en la primera proposta: pel circuit d'aigua del condensador, indicat també a la llista de material Taula 7. És a dir, encara que el PLC s'ha inclòs a la llista de material d'ambdues propostes, el prototipus construït només necessita un sol PLC. Així doncs, el cost total de la implementació del les dos propostes en un sol prototipus és de **410,25 €**.

### 5.5.2 Esquema de les connexions

A la següent Figura 22 es mostra l'esquema de la connexió del sistema de detecció d'escuma al PLC i a l'alimentació que, tal i com s'ha esmentat anteriorment, s'utilitza el sensor capacitiu de la sonda d'escuma, que ja presenta el fermentador, al qual s'ha afegit l'electrònica necessària per a connectar-lo al PLC.



*Figura 22: Esquema del circuit elèctric per connectar el sistema detector d'escuma al PLC i a l'alimentació.*

### 5.5.3 Configuració del sistema d'alarma

La configuració del sistema d'alarma de nivell alt de tanc es pot dividir en els següents passos:

1. Connectar el PLC a Internet.
2. Configurar el sistema de notificació.
3. Desenvolupar un programa per tal de llegir les dades del sensor de nivell i enviar la notificació en cas d'alarma.
  - a. Programa per llegir les dades del sensor de nivell.
  - b. Programa per enviar la notificació.

#### 5.5.3.1 Connexió del PLC a la xarxa

En primer lloc, amb la finalitat de configurar el sistema de notificació, cal connectar el PLC a Internet. Tal i com s'esmenta al punt 4.2.3.2, s'ha comprovat que a l'empresa és possible connectar-se a Internet mitjançant un cable Ethernet des del PLC fins a una rosseta, sense introduir cap contrasenya.

Per comprovar que el PLC efectivament es connecta a Internet, es descarrega la llibreria *Ethernet2* i es carreguen els exemples disponibles per aquesta llibreria:

- Exemple DhcpAdress Printer:

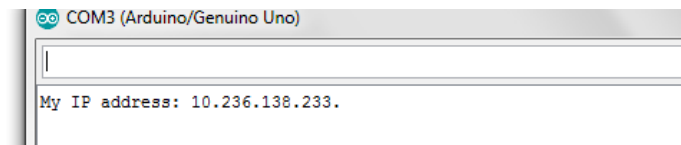


Figura 23: Serial monitor després de carregar l'exemple DhcpAdressPrinter al PLC Arduino.

Es comprova al *Serial Monitor* que s'assigna una IP al PLC.

- Exemple UdpNTPClient:

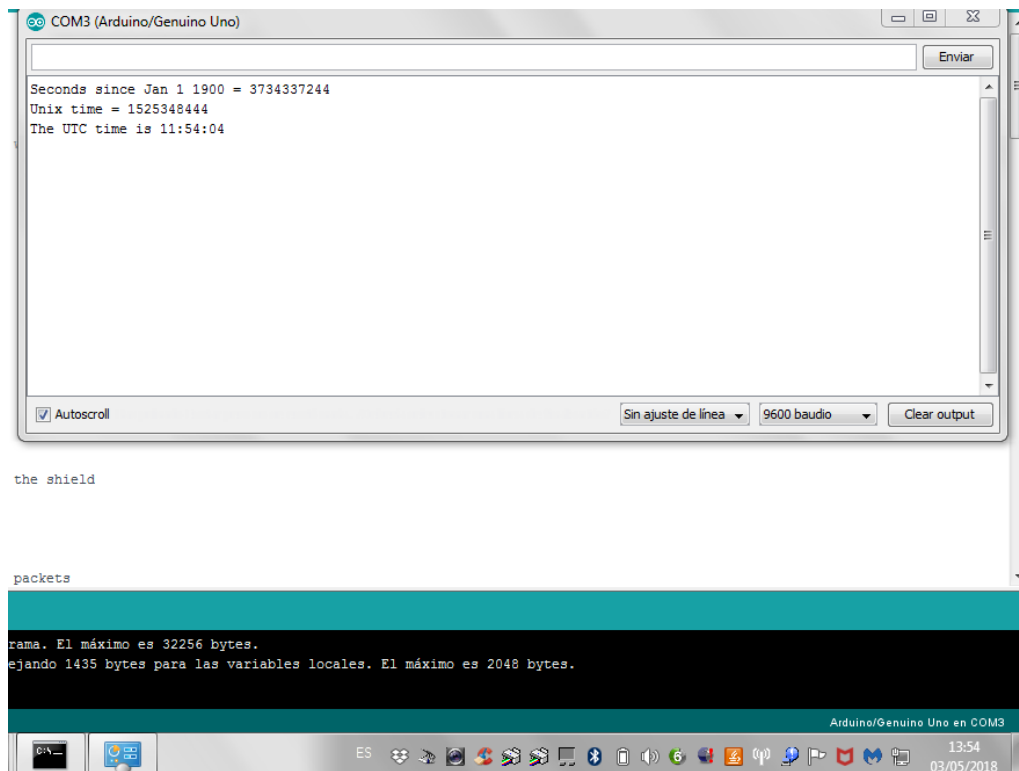


Figura 24: Serial monitor després de carregar l'exemple UdpNTPClient al PLC Arduino.

Amb aquest exemple, es comprova que és possible obtenir l'hora però 2 hores enrederida.

- Exemple WebServer:

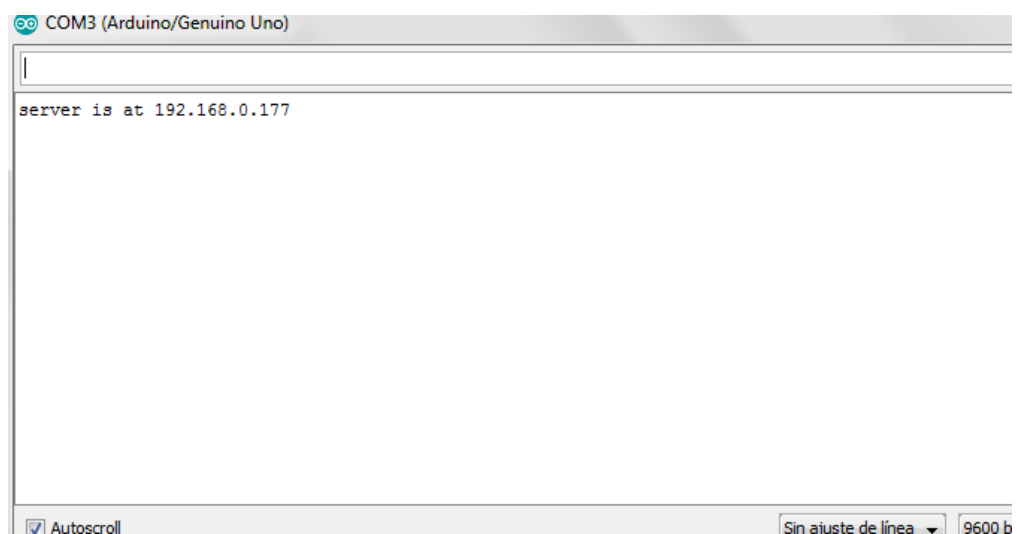


Figura 25: Serial monitor després de carregar l'exemple WebServer al PLC Arduino.

Es comprova que aquest exemple funciona, ja que al *Serial Monitor* es pot veure que dona una IP d'on es troba el servidor.

- Exemple Web Client



Figura 26: Serial monitor després de carregar l'exemple WebClient al PLC Arduino.

Es comprova que l'exemple WebClient funciona.

### 5.5.3.2 Configuració del sistema de notificació

Tal i com s'esmenta al punt 4.2.3.1 el sistema de notificació escollit presenta dos components:

- Una plataforma del *cloud* per activar la notificació anomenada PushingBox.
- El sistema que envia la notificació als dispositius connectats anomenat PushBullet.

D'aquesta manera, el primer pas per configura el sistema de notificació és crear un compte de correu. En aquest cas el compte creat és: [correo.nivel@gmail.com](mailto:correo.nivel@gmail.com).

Seguidament, activar una compte de PushBullet ([PushBullet, 2018](#)) amb la compte de Gmail creada i també descarregar l'aplicació PushBullet al Google Play, al mòbil/s on es vulgui rebre la notificació. Una vegada la compte està llesta, s'ha d'obtenir la clau API al panell de control de PushBullet (Figura 27), la qual és necessària per envair la notificació mitjançant PushingBox ([AZZOLA, 2018](#)).

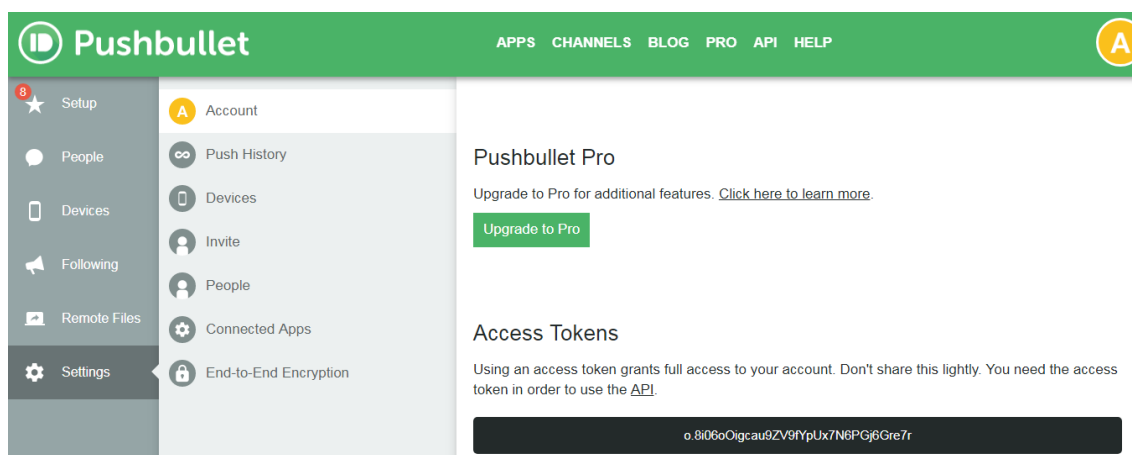


Figura 27: Obtenció de clau API (Acces Token) de la compte de PushBullet.

El següent pas es crear una compte de PushingBox (PushingBox, 2018) i configurar-la. Al panell de control de PushingBox s'ha de crear un nou Service (Figura 28,29 i 30) on s'ha d'introduir la clau API (Acces Token) abans obtinguda a PushBullet (Figura 27):

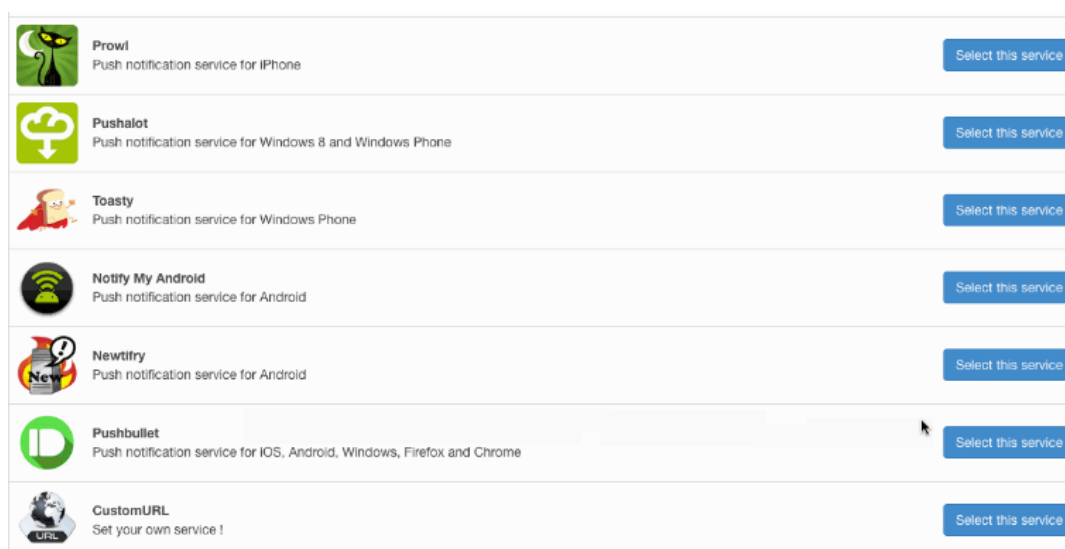
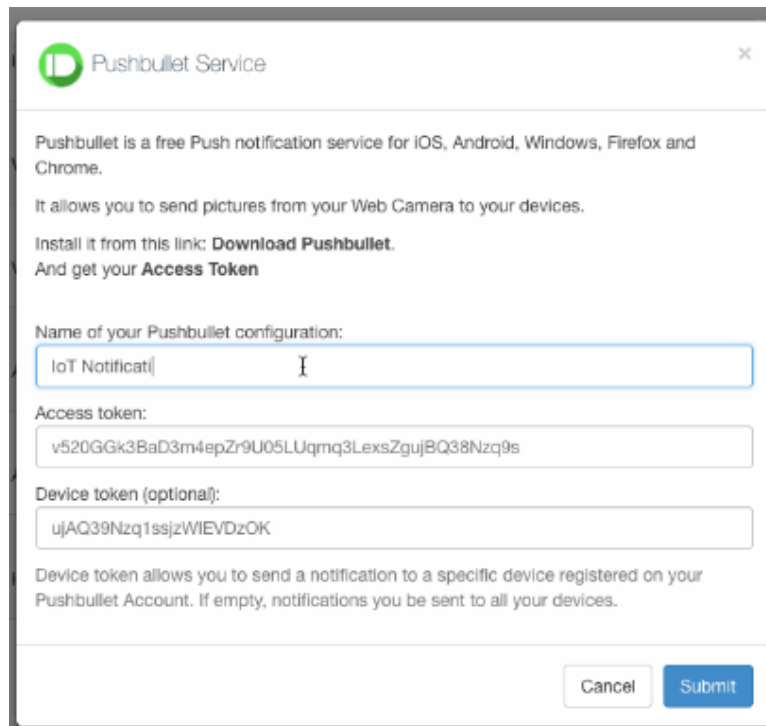


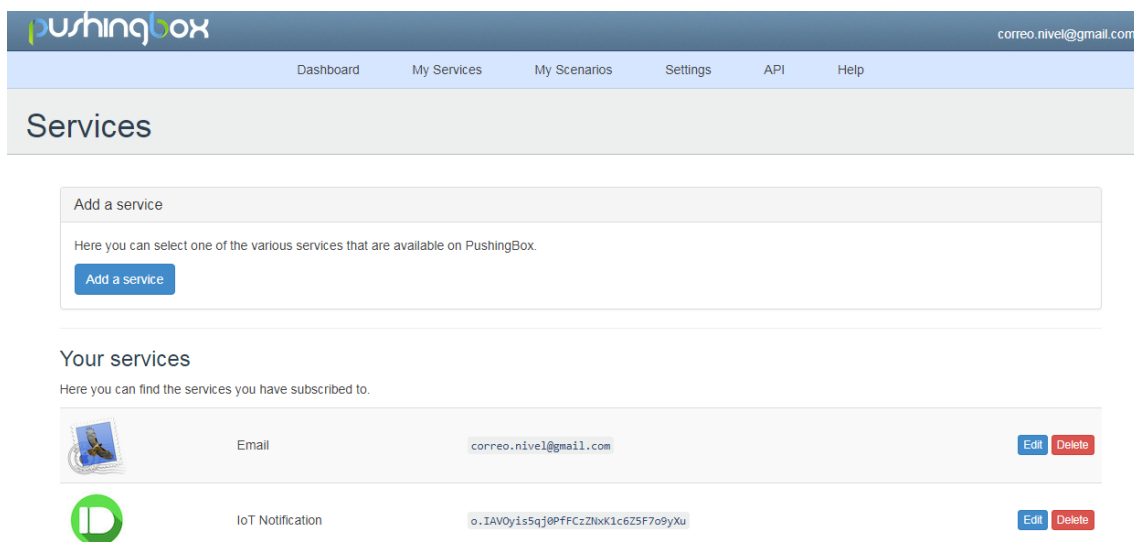
Figura 28: Imatge on s'indica on s'ha de clicar per la creació del Service PushBullet a la compte creada a PushingBox.



The image shows a 'Pushbullet Service' configuration window. It contains the following text and fields:

- Header: Pushbullet Service (with a close button 'x')
- Text: Pushbullet is a free Push notification service for iOS, Android, Windows, Firefox and Chrome.
- Text: It allows you to send pictures from your Web Camera to your devices.
- Text: Install it from this link: **Download Pushbullet.**
- Text: And get your **Access Token**
- Form: Name of your Pushbullet configuration: (text input field containing 'IoT Notificati')
- Form: Access token: (text input field containing 'v520GGk3BaD3m4epZr9U05LUqmq3LexsZgujBQ38Nzq9s')
- Form: Device token (optional): (text input field containing 'ujAQ39Nzq1ssjzWIEVDzOK')
- Text: Device token allows you to send a notification to a specific device registered on your Pushbullet Account. If empty, notifications you be sent to all your devices.
- Buttons: Cancel, Submit

Figura 29: Imatge de la creació del Service de PushBullet on s'ha d'introduir el nom del servei i la clau API (acces Token).



The image shows the 'pushingbox' dashboard. The top navigation bar includes 'Dashboard', 'My Services', 'My Scenarios', 'Settings', 'API', and 'Help'. The user email 'correo.nivel@gmail.com' is displayed in the top right. The main section is titled 'Services' and contains:

- 'Add a service' section: A box with the text 'Here you can select one of the various services that are available on PushingBox.' and an 'Add a service' button.
- 'Your services' section: A box with the text 'Here you can find the services you have subscribed to.' containing a table of services.

| Service Icon          | Service Name     | Service ID                         | Actions     |
|-----------------------|------------------|------------------------------------|-------------|
| Email icon            | Email            | correo.nivel@gmail.com             | Edit Delete |
| IoT Notification icon | IoT Notification | o.IAV0yis5qj0PFFCzZlxK1c6Z5F7o9yXu | Edit Delete |

Figura 30: Imatge on es comprova la creació del servei PushBullet a PushingBox anomenat IoT Notification.

Després d'haver creat el servei, cal també crear un *Scenario* a PushingBox, és a dir, crear el contingut del missatge que volem enviar (Figura 31, 32,33 i 34).

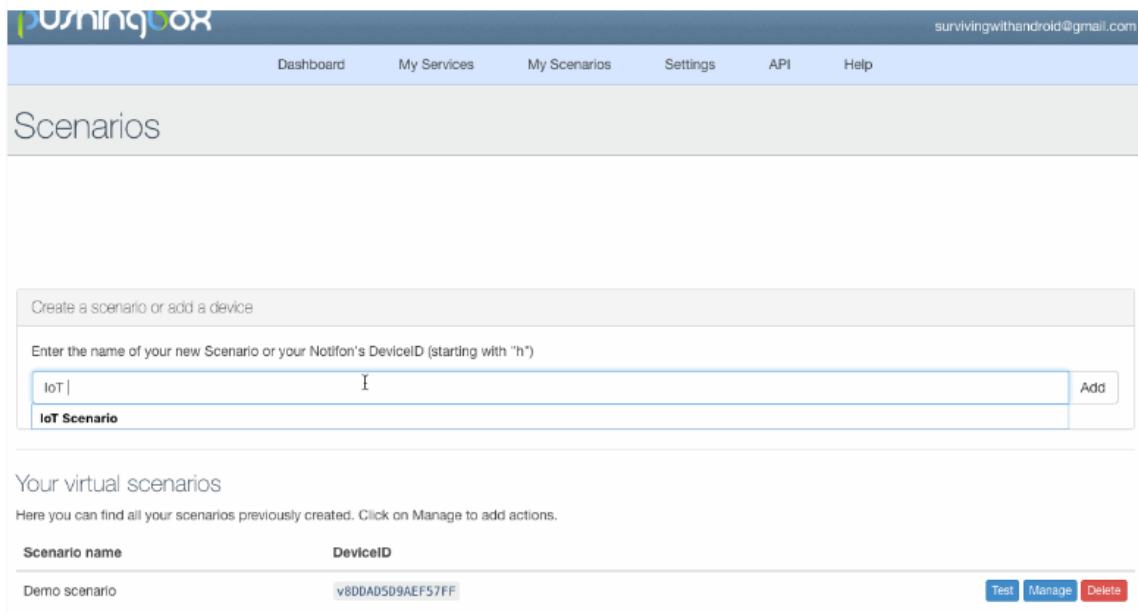


Figura 31: Imatge on s'indica el primer pas per crear un Scenario a PushingBox.

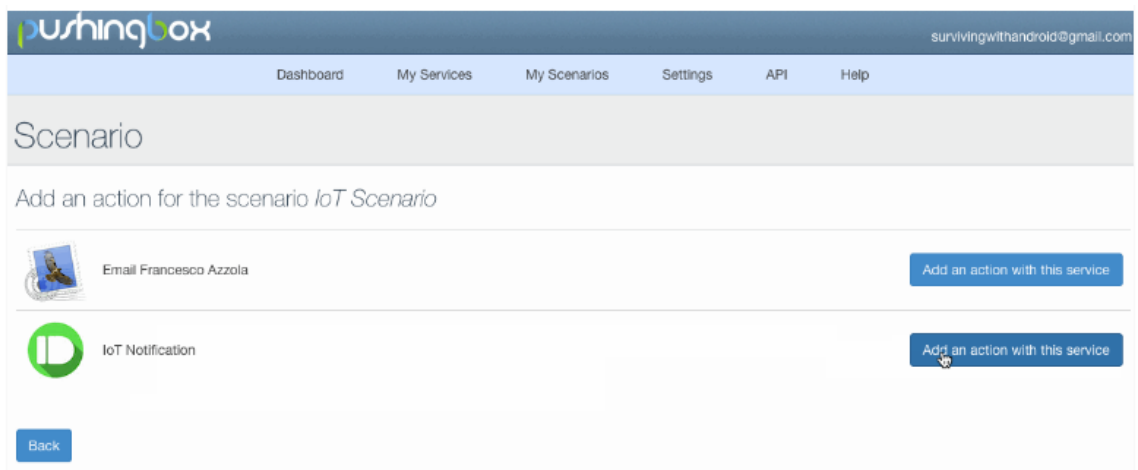


Figura 32: Imatge on s'indica el segon pas de crear un Scenario. S'ha d'activar una acció amb el servei creat anteriorment.

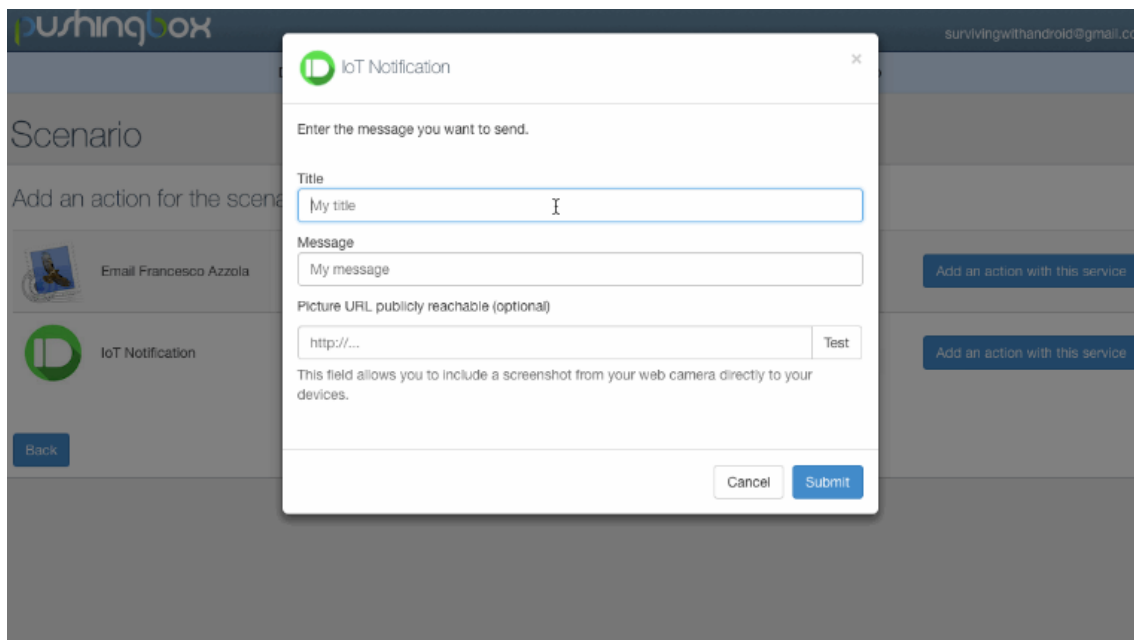


Figura 33: Imatge on s'indica el tercer pas de crear un Scenario. Cal introduir un títol i el cos del missatge que es vol enviar a la notificació.

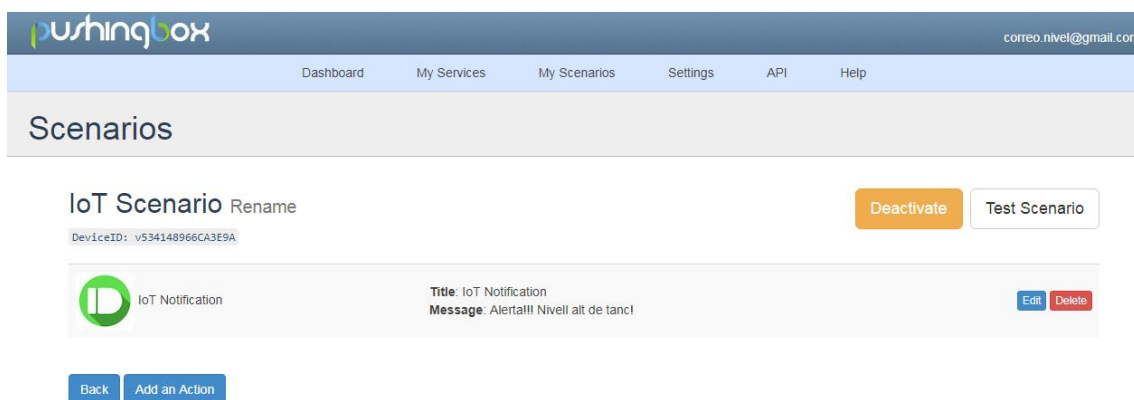


Figura 34: Imatge on s'indica que el Scenario ja s'ha creat. S'obté una DeviceID corresponent a aquest Scenario.

Una vegada creat l'Scenario, s'obté una *DeviceID* que s'haurà d'introduir al codi de programació del PLC per tal que envii la notificació.

Esmentar que es crea un segon *Service* i *Scenario* per obtenir el *DeviceID\_2* que s'utilitzarà per enviar una segona notificació per avisar que s'ha actuat per resoldre l'alarma (Figura 35).



## Your virtual scenarios

Here you can find all your scenarios previously created. Click on Manage to add actions.

| Scenario name                 | DeviceID         |
|-------------------------------|------------------|
| Demo scenario                 | v8886DD98B2CAF1F |
| IoT scenario                  | v534148966CA3E9A |
| IoT scenario acció correctora | vD8688F9FF9AA488 |

*Figura 35: Scenarios creats. El primer scenario (IoT scenario) és el que s'utilitza per enviar la notificació d'alarma i el segon scenario (IoT scenario acció correctora) és el que s'utilitza per enviar la notificació conforme ja s'ha realitzat una acció correctora.*

Arribats a aquest punt, es procedeix a la programació del codi necessari per tal que el PLC es pugui connectar a Internet i envii la notificació d'alarma en cas que el nivell d'escuma sigui molt elevat i una notificació quan s'hagi realitzat una acció correctora (veure Annex II).

## 6. VALIDACIÓ

El prototip implementat s'ha instal·lat al bioreactor de 7 L del laboratori del Departament de Biotecnologia d'I+D d'ENSIS SCIENCES S.L. (Figura 36, 37, 38 i 39). Així mateix, s'ha posat en marxa i s'ha comprovat que el sistema funciona correctament segons la funcionalitat definida a l'inici del projecte. Com a evidència d'aquest funcionament es presenta un vídeo que pot trobar-se al següent enllaç:

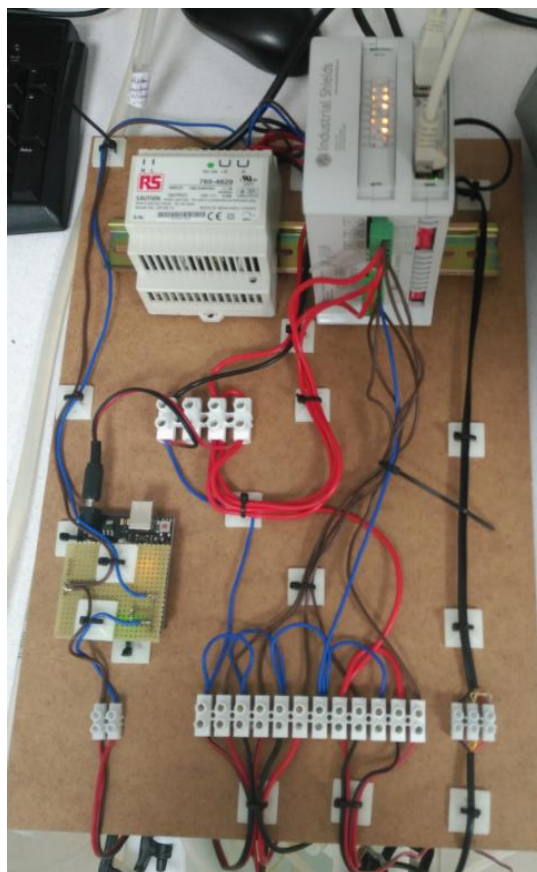
[https://www.dropbox.com/sh/wgeu3j3sdephfp/AABZ-0Gn6VeXtj\\_a\\_odUltWka?dl=0](https://www.dropbox.com/sh/wgeu3j3sdephfp/AABZ-0Gn6VeXtj_a_odUltWka?dl=0)



*Figura 36: Imatge global del prototip implementat al bioreactor de 7 L d'ENSIS SCIENCES.*



*Figura 37: Zoom de la Figura 36 enfocant cap al bioreactor.*



*Figura 38: Zoom de la Figura 36 enfocant cap a les connexions realitzades dels sensors i actuadors.*



*Figura 39: Zoom de la Figura 36 enfocant cap al tanc de 20 L que conté l'aigua i els elements actuadors i sensors implementats per la proposta de recirculació de l'aigua del condensador.*

Convé ressaltar, que la finalitat de la prova funcional és validar que tots els elements (sensors i actuadors) implicats a les propostes implementades s'activen i es desactiven quan correspon, seguint el disseny prèviament realitzat del prototip. El funcionament observat és correcte i correspon als requisits establerts a l'inici del treball. Tot i així, convindria complementar les comprovacions realitzades amb una prova de funcionament més llarga. És a dir, s'hauria de deixar el sistema en actiu durant varis processos de fermentació. Això permetria comprovar el funcionament del prototipus quan treballa durant períodes llargs i valorar la seva fiabilitat.

## 7. CONCLUSIONS

En aquest treball s'ha analitzat un bioreactor comercial en ús i s'han identificat dos aspectes a millorar, s'han proposat les millores a aplicar i s'han dissenyat i construït els sistemes proposats. També s'ha verificat el correcte funcionament dels sistemes implementats. Això ens permet afirmar que s'han assolit els objectius plantejats a l'inici del projecte.

- El material necessari per a la solució aportada té un cost total de 410,25 € que ha finançat l'empresa propietària del bioreactor. No s'ha considerat el cost de les hores d'enginyeria, ja que es tracta d'un treball acadèmic i aquest cost queda absorbit per les hores de dedicació de l'estudiant autor del treball. El cost i les prestacions aconseguides tenen un gran interès en front a altres alternatives comercials.
- Encara que no s'ha considerat el cost de les hores invertides, sí que s'han comptabilitzat els dies dedicats. La Taula 9 i Figura 40 presenten el Diagrama de Gantt del temps "realment" destinat a la realització de les tasques del projecte.

Pot sobtar que la planificació de compra del material va establir-se en 13 dies i en canvi, realment ha estat de 74 dies. Això ha sigut així perquè algun material, com els flotadors o les bombes, eren importats de països de fora de la unió europea i la seva recepció es va allargar més del planificat. També s'observa, que en un principi es va preveure que la programació del codi per implementar les propostes seria d'uns 21 dies, mentre que realment ha sigut necessari un període tres vegades superior per finalitzar la tasca. No obstant, aquest temps s'ha compensat amb el període de validació del prototip, ja que ha estat un període molt més curt del que es va proposar inicialment de 28 dies. A més, s'observa que les tasques que van començar a la data plantejada van ser les de la compra del material i la programació de les propostes. En canvi, les altres tasques es van haver d'aplaçar uns dies, exceptuant la documentació de la implementació del prototip, que es va iniciar 3 mesos abans dels previstos.

Així doncs, s'observen algunes desviacions respecte a la previsió inicial, però en termes generals es pot afirmar que s'ha pogut assolir el termini de finalització del projecte.

Taula 9: Organització de les tasques necessàries per dur a terme les propostes. Es mostra per cada tasca, la data d'inici, la data final i la duració d'aquesta..

| NOM TASCA  | DATA D'INICI | DATA FINAL | DURACIÓ (DIES) |
|--|--------------|------------|----------------|
| Compra i recepció del material necessari   | 05/04/2018   | 18/06/2018 | 74             |
| Realitzar la connexió de tots els elements implicat al circuit de recirculació de l'aigua del condensador  | 22/06/2018   | 25/06/2018 | 3              |
| Programació del circuit de recirculació de l'aigua del condensador   | 09/04/2018   | 11/06/2018 | 63             |
| Programació del sistema de notificació d'alarma de perill de vessament                                     | 10/04/2018   | 09/06/2018 | 60             |
| Realitzar les connexions dels elements implicats al sistema de notificació d'alarma de perill de vessament | 27/06/2018   | 29/06/2018 | 2              |
| Validació del circuit de recirculació de l'aigua del condensador   | 29/06/2018   | 01/07/2018 | 2              |
| Validació del sistema de notificació d'alarma de perill de vessament de brou de cultiu                     | 29/06/2018   | 01/07/2018 | 2              |
| Correccions necessàries pel funcionament correcte del prototip   | 01/07/2018   | 07/07/2018 | 6              |
| Documentar la implementació del prototip   | 01/03/2018   | 12/07/2018 | 133            |

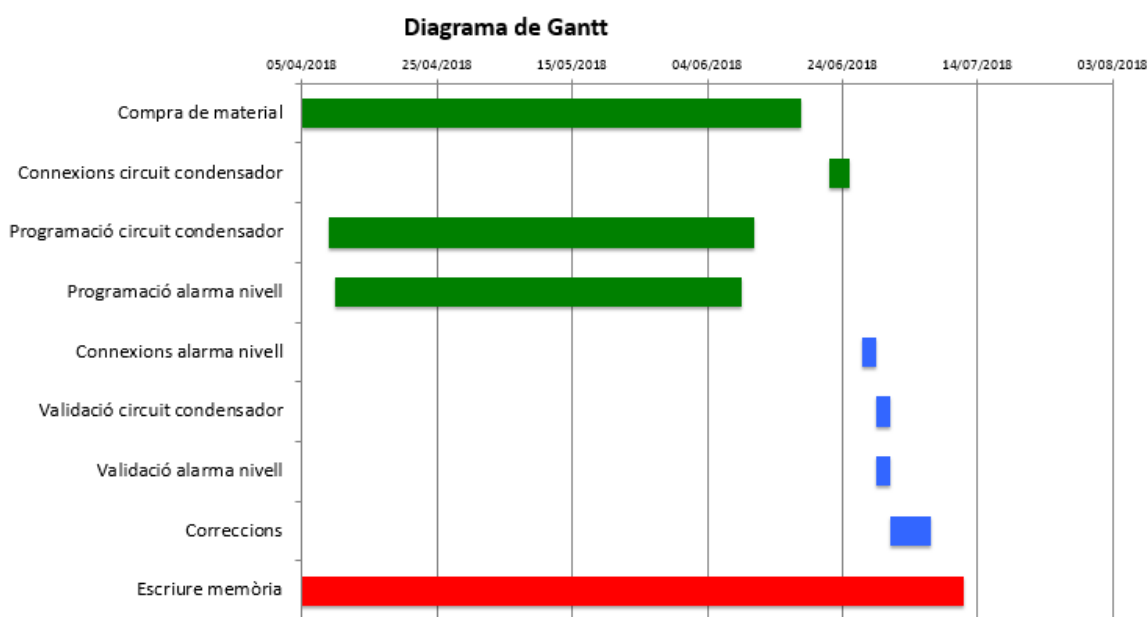


Figura 40: Diagrama de Gantt de les tasques realitzades en el present Projecte.

- El muntatge presentat té format de prototipus, però el fet d'haver utilitzat un PLC comercial destinat a ús industrial fa que el sistema sigui molt similar a una versió final. Es podria utilitzar el mateix material i només caldria fer una instal·lació fixa.
- El PLC utilitzat (M-DUINO PLC Arduino Ethernet 19R I/Os Relé / Analógico / Digital PLUS) és un producte industrial basat en disseny *Open Source*. Els principals avantatges d'aquesta característica són un cost més baix, l'existència de recursos gratuïts com ara l'entorn de programació i la possibilitat de modificar el disseny aprofitant la col·laboració entre la comunitat d'usuaris. També cal dir que s'observa algun desavantatge: el suport tècnic pot no ser tan eficient com en el cas de productes propietaris i l'empresa usuària pot veure's obligada a buscar una solució a la comunitat d'usuaris bé a desenvolupar-la des del departament TIC intern. Això suposa una despesa tant econòmica com productiva que cal considerar.
- Pel que fa a la realització d'un circuit tancat de l'aigua que circula pel condensador, implica la reducció del consum d'aigua, ja que es consumeixen aproximadament uns 758 L menys i de retruc s'aconsegueix reduir costos, ja que amb el circuit obert d'aigua el cost d'aquesta a cada fermentació realitzada és de 0,98 €, mentre que amb la implementació de la proposta de realitzar un circuit de recirculació el cost és de 0,025 €. D'aquesta manera, s'aconsegueix un estalvi del 97,44 % en el cost de l'aigua a cada fermentació realitzada.
- El cost de dur a terme la proposta del circuit tancat d'aigua pel condensador ha sigut de 370,95 € (cost sense tenir en compte el material necessari per implementar l'altra proposta d'enviar la notificació d'alarma). Si es té en compte que respecte el circuit obert s'estalvien 0,955 € a cada fermentació, els costos de la realització del prototip s'amortitzarien a les 389 fermentacions. Malgrat l'amortització en termes econòmics és a llarg termini, convé ressaltar que la implementació de la proposta de recircular l'aigua del condensador és respectuosa amb el medi, ja que es consumeixen a cada fermentació 758 L menys. Així doncs, no es malgasta aigua de manera innecessària i per tant és una proposta que contribueix a la sensibilització i conscienciació social per la sostenibilitat ambiental. Per tant es tracta d'una solució "*d'actitud environmentally friendly*" que aporta valor afegit a la proposta.

- Pel que fa a l'enviament d'una notificació al mòbil de la persona responsable del laboratori quan hi ha perill de vessament de brou de cultiu, es tracta d'una aplicació del concepte IoT, un dels pilars de la futura Indústria 4.0, per oferir prevenció a una possible fallida greu en un entorn industrial d'un sistema concret. Si bé és cert que és improbable que es produeixi un vessament del brou de cultiu com a conseqüència de l'acumulació de pressió al fermentador que el faci esclatar, és important la prevenció d'aquest risc, ja que si arribés a ocórrer, les conseqüències serien molt greus. Implicaria que el vas del fermentador s'hauria trencat i, per tant, caldria comprar-ne un de nou, amb l'elevat cost que això comportaria. A més, es perdria el cultiu que s'estava fermentant perquè ja no seria estèril i també aquest podria escampar-se pel laboratori i arribar a contaminar algunes zones d'aquest. Així doncs, malgrat la proposta d'implementar el sistema d'alarma descrit té un cost de 364,79 € (cost sense tenir en compte el material necessari per implementar l'altra proposta de recircular l'aigua del condensador), la prevenció és molt important per minimitzar riscos.

La millora assolida en les prestacions del bioreactor ha estat possible gràcies a l'aplicació de tecnologies essencials facilitadores com ara l'automatització i control del circuit de recirculació de l'aigua del condensador, i l'ús de l' IoT com a prevenció d'un possible risc de vessament de brou de cultiu. És evident que les prestacions aconseguides amb aquest treball contribueixen a millorar el bioprocés analitzat. Per tant, en la meua opinió, presenten un elevat interès potencial com a eines d'innovació i millora en els processos industrials. De fet, en la actualitat, a qualsevol indústria, però en especial tant a la indústria alimentària com a la biotecnològica, és molt important l'optimització continua dels processos, tant en termes de producció, com en termes econòmics. Així doncs, l'ús de les tecnologies facilitadores és clau per ajudar a aconseguir l'òptim en el desenvolupament i productivitat d'un procés, ja que milloren el control per mantenir el funcionant adequat o detectar fallides dels processos, tal i com s'ha pogut comprovar en aquest projecte.



## 8. PROPOSTES DE FUTUR

El sistema dissenyat i construït en aquest treball ha permès millorar 2 punts febles observats en el fermentador estudiat. Però també obre el camí per a incorporar altres millores. A continuació s'esmenten idees de treballs futurs que podrien donar continuïtat a aquest projecte:

- Encara que per dissenyar aquest sistema s'ha utilitzat un PLC industrial comercial i el funcionament del sistema ha estat satisfactori, el prototipus que s'ha posat en marxa no deixa de ser una prova de concepte i no s'ha sotmès a tests d'estrès. Caldria verificar i garantir la fiabilitat del sistema per a utilitzacions llargues i continuades.
- Podria dissenyar-se una interfície d'usuari per a canviar paràmetres de configuració, com ara el líndar de temperatura. Actualment, cal modificar i tornar a carregar la programació del PLC.
- Pel que respecta a la proposta d'enviar una notificació d'alarma per avisar que hi ha perill de vessament de brou de cultiu del fermentador, es podria programar una aplicació personalitzada. Aquesta via presenta l'avantatge que la notificació seria adaptada al sistema proposat i, per tant, es podria enviar tant text, com so, com imatge, o les tres coses alhora amb el format que es desitgés. A més, la gestió de la notificació seria molt més flexible, ja que es podrien realitzar directament informes o bé un registre de dades per exemple. El gran desavantatge és que s'hauria de recórrer a programadors que programessin l'aplicació des de zero i que mantinguessin l'aplicació amb el cost econòmic que això implica.
- El software de control del fermentador (*ez-Control Bio Controller*) incorpora un controlador PID per a controlar el pH i la pressió parcial d'oxigen. Els valor dels paràmetres del controlador PID venen fixats de fàbrica. Es podria estudiar la resintonització d'aquests paràmetres tal d'optimitzar el control d'aquestes magnituds.

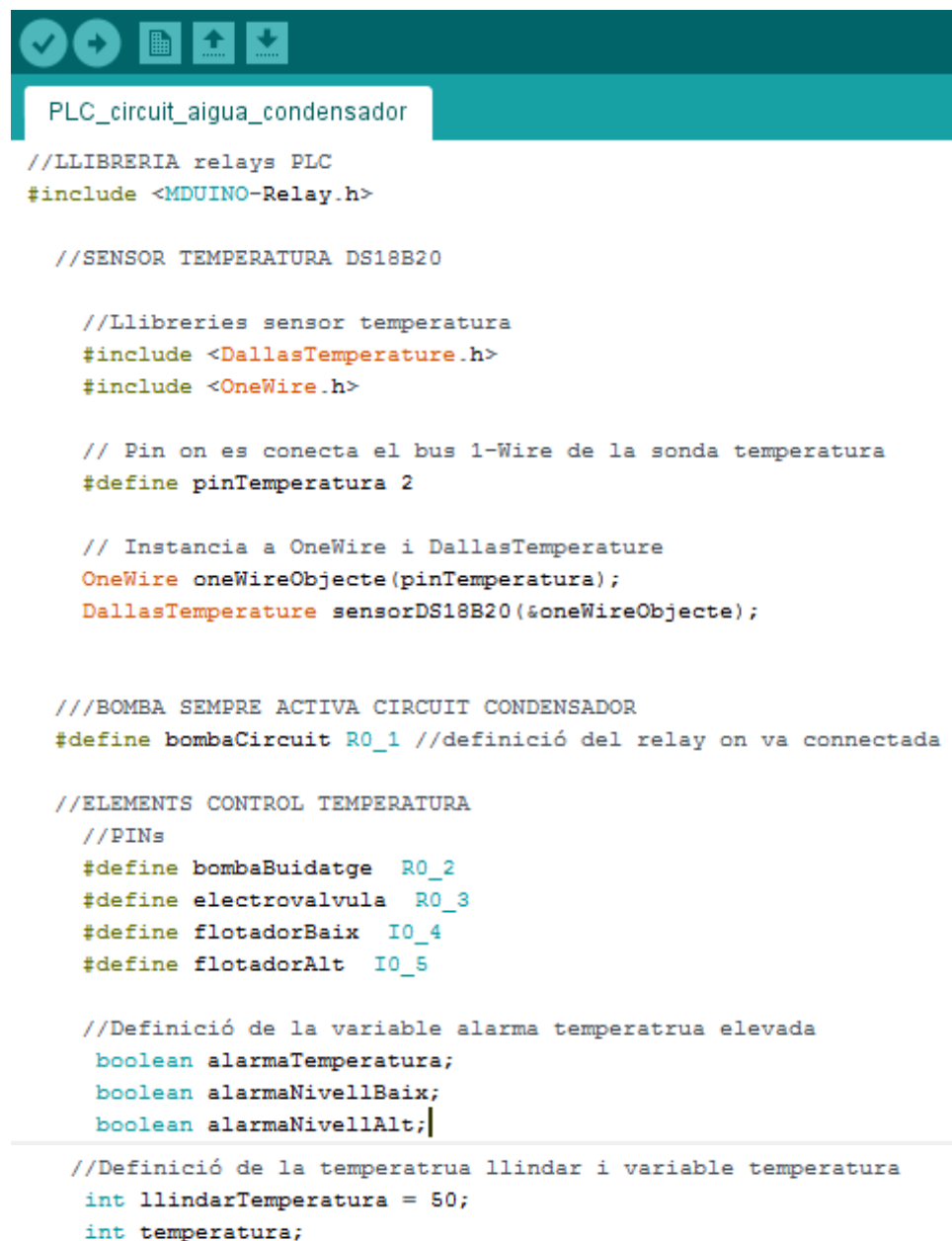
## 9. REFERÈNCIES

- Applikon Biotechnology. (2008). *Hardware Manual: ez-Control for Autoclavable Bioreactor System 1-20 L*. Schiedam, Holanda: Applikon Biotechnology B.V.
- Arduino. (2011). *Capacitive Sensing Library*. Consultat el juny / 2018, a <https://playground.arduino.cc/Main/CapacitiveSensor?from=Main.CapSense>
- AZZOLA, F. (2018). *FRANCESCO AZZOLA*. Consultat l'abril / 2018, a IoT notification systemIoT Notification: How to implement a notification system: <https://www.survivingwithandroid.com/2018/01/iot-notification-implement-notification-system.html>
- Azzola, F. (2018). *IoT Notification. How to implement a notification system*. Consultat el maig / 2018, a <https://www.survivingwithandroid.com/2018/01/iot-notification-implement-notification-system.html>
- Clement87. (2015). *GitHub*. Consultat l'abril / 2018, a PushingBox-for-Arduino: [https://github.com/Clement87/PushingBox-for-Arduino/blob/master/PushingBox\\_Arduino\\_Ethernet\\_Official/PushingBox\\_Arduino\\_Ethernet\\_Official.ino](https://github.com/Clement87/PushingBox-for-Arduino/blob/master/PushingBox_Arduino_Ethernet_Official/PushingBox_Arduino_Ethernet_Official.ino)
- Galloway, B., & Hancke, G. P. (2013). Introduction to industrial control networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 15(2), 860-880.
- Industrial Shields. (2018). *DS18B20 TEMPERATURE SENSOR- ONE WIRE – ARDBOX – MDUINO*. Consultat el maig / 2018, a <http://blog.industrialshields.com/wp-content/uploads/2016/02/OneWireconnection.png>
- Insdustrial Shields. (2016). *M-Duino Family User Guide*. Consultat el maig / 2018, a <https://www.industrialshields.com/es/product/m-duino-plc-arduino-19r-ios-relay-analog-digital-plus/>
- PushBullet*. (2018). Consultat l'abril / 2018, a <https://www.pushbullet.com/#settings/account>
- PushingBox*. (2018). Consultat l'abril / 2018, a <https://www.pushingbox.com/>
- Telegrafia A.S. (2017). *Early warning and emergency notification. Telegrafia*. Consultat el març / 2018, a [http://www.telegrafia.eu/esp/Soluciones/notification\\_de\\_personas/Pages/Sistema\\_de\\_Aviso\\_y\\_Notificacion\\_con\\_un\\_hardware\\_simple.aspx](http://www.telegrafia.eu/esp/Soluciones/notification_de_personas/Pages/Sistema_de_Aviso_y_Notificacion_con_un_hardware_simple.aspx)
- Zoeller. (2018). *Sistemas de alarma A-Pack. Zoeller pump company*. Consultat el març / 2018, a <https://www.zoellerpumps.com/es-ea/products/alarmas/estandar/a-pak>

## ANNEX I

Tot seguit es presenta el codi programat per la proposta del circuit de recirculació de l'aigua del condensador, el qual farà funcionar el PLC perquè controli els elements actuadors segons les dades recollides pels sensors:

En primer lloc es declaren les llibreries, els pins/relés on aniran connectats els sensors i actuadors, i també es declaren les variables que seran necessàries pel control de la temperatura i nivell del tanc (Figura 41):



```
PLC_circuit_aigua_condensador

//LLIBRERIA relays PLC
#include <MDUINO-Relay.h>

//SENSOR TEMPERATURA DS18B20

//Llibreries sensor temperatura
#include <DallasTemperature.h>
#include <OneWire.h>

// Pin on es conecta el bus 1-Wire de la sonda temperatura
#define pinTemperatura 2

// Instancia a OneWire i DallasTemperature
OneWire oneWireObjecte(pinTemperatura);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjecte);

///BOMBA SEMPRE ACTIVA CIRCUIT CONDENSADOR
#define bombaCircuit R0_1 //definició del relay on va connectada

//ELEMENTS CONTROL TEMPERATURA
//PINS
#define bombaBuidatge R0_2
#define electrovalvula R0_3
#define flotadorBaix IO_4
#define flotadorAlt IO_5

//Definició de la variable alarma temperatura elevada
boolean alarmaTemperatura;
boolean alarmaNivellBaix;
boolean alarmaNivellAlt;

//Definició de la temperatura llindar i variable temperatura
int llindarTemperatura = 50;
int temperatura;
```

Figura 41: Codi de la declaració de llibreries i pins/relés on van connectats els sensors i variables necessàries pel control del tanc.

Al codi s'inclou la llibreria *MDuino-Relay.h* que serveix per relacionar cada relé extern a la carcassa del PLC amb el seu corresponent PIN del *shield* Arduino que es troba a l'interior i que l'usuari no pot visualitzar.

Pel que fa al sensor de temperatura, com es tracta d'una sonda DS18B20 digital s'han d'incloure les llibreries *OneWire* i *DallasTemperature* per tal que el sensor pugui obtenir dades de temperatura i que aquestes siguin llegides. Seguint amb el codi referent al sensor de temperatura, també es defineix quin és el pin on anirà connectat el dispositiu i es declara la constant *llindarTemperatura* que és necessària pel control de la temperatura de l'aigua al tanc.

Tots els altres elements (la bomba que està sempre activa per fer circular l'aigua pel condensador, la bomba que s'activa en cas que sigui necessari el buidatge del tanc, l'electrovàlvula per tornar a obrir el tanc i els sensors de nivell (flotadors)), en aquesta part inicial del codi, només es declara en quins relés aniran connectats cadascun dels elements. Tots es connecten a relés de sortida (output), exceptuant els sensor de nivell/flotadors que es connecten a relés d'entrada (input). També es declaren com a variables booleans:

- alarmaTempertura
- alarmaNivellBaix
- alarmaNivellAlt

perquè es fan servir al *void loop* del codi (més endavant es mostra).

A la següent Figura 42 es mostra el codi de la part del *void setup*:

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);

    //TEMPERATURA
    // Inici del bus 1-Wire
    sensorDS18B20.begin();

    //BOMBA SEMPRE ACTIVA CIRCUIT CONDENSADOR
    pinMode(bombaCircuit, OUTPUT);

    //ELEMENTS CONTROL TEMPERATURA
    pinMode(bombaBuidatge, OUTPUT);
    pinMode(electrovalvula, OUTPUT);
    pinMode(flotaadorBaix, INPUT);
    pinMode(flotaadorAlt, INPUT);
}
```

Figura 42: Codi de la part *void set up* del control del circuit d'aigua del condensador.

A al part del *void setup* del codi, en quant a la temperatura, es necessari iniciar la comunicació sèrie (*Serial.begin( 9600)*) i també iniciar el sensor (*sensor.DS18B20.begin*). Pel que fa als altres elements, tots es declaren com variables de sortida (*OUTPUT*), exceptuant el sensors de nivell flotadors que es declaren com a variables d'entrada (*INPUT*).

A continuació es mostra el codi del *void loop* (Figura 43):

```
void loop() {
// LECTURA DE L'ESTAT DELS SENSORS:

//BOMBA SEMPRES ACTIVA CIRCUIT CONDENSADOR
//Serial.println("activa bomba"); //eliminar un cop debugat el programa
digitalWrite(bombaCircuit, HIGH);

//TEMPERATURA
// Comandes per obtenir la temperatura
Serial.println("Llegint temperatura");
sensorDS18B20.requestTemperatures();

// Lectura i mostra de les dades obtingudes pel sensor de temperatura DS18B20
temperatura = sensorDS18B20.getTempCByIndex(0); //Es guarda la dada obtinguda pel sensor com una constant anomenada "temperatura"
Serial.print("Temperatura sensor: ");
Serial.print(temperatura);
Serial.println(" °C");
//Llegir l'Estat de la temperatura de l'aigua
if (temperatura >= llindarTemperatura){
    alarmaTemperatura = 1;
} else {
    alarmaTemperatura = 0;
}

////Llegir l'Estat del flotador de nivell baix
if (digitalRead(flotadorBaix) == HIGH){ //Quan el flotador no està tocant l'imatge, el circuit està tancat, el llum frontal del PLC està encès→ es llegeix un HIGH
    alarmaNivellBaix = 0; //HIGH equival a situació NO alarma, El nivell està per sobre del mínim.
} else {
    alarmaNivellBaix = 1;
}

////Llegir l'Estat del flotador de nivell alt
if (digitalRead(flotadorAlt) == HIGH){ //Quan el flotador no està tocant l'imatge, el circuit està tancat, el llum frontal del PLC està encès→ es llegeix un HIGH
    alarmaNivellAlt = 0; // HIGH equival a situació NO alarma, El nivell està per sota del màxim.
} else {
    alarmaNivellAlt = 1;
}
```

```
//PROCESAMENT INFORMACIÓ I PRESA D'ACCIÓ DE CONTROL:

//Control temperatrua de l'aigua del circuit de refrigeració del condensador
if ((temperatura >= llindarTemperatura) and (alarmaNivellBaix == 0) or (alarmaNivellAlt==1)){
    digitalWrite(bombaBuidatge, HIGH);
    //si la temperatrua és superior al llindar i el nivell d'aigua NO es troba al mínim--> obrir bomba de buidatge

} else {
    digitalWrite(bombaBuidatge, LOW);
}

if ((temperatura >= llindarTemperatura) and (alarmaNivellAlt == 0) or (alarmaNivellBaix==1)){
    digitalWrite(electrovalvula, HIGH);
    //si la temperatrua és superior al llindar i el nivell d'aigua NO ha arribat al màxim--> obrir electroàlvula

} else {
    digitalWrite(electrovalvula, LOW);
}

delay(1000);
```

Figura 43: Codi de la part void loop del control del circuit d'aigua del condensador.

En primer lloc, es declara que la bomba que fa circular l'aigua pel condensador estigui activa (*digitalWrite(bombaCircuit, HIGH)*). En segon lloc, es designen les ordres necessàries per obtenir la temperatura (comandes :

*sensorDS18B20.requestTemperatures* i *sensorDS18B20.getTempCByIndex(0)*). I, en últim lloc, es programa el control de la temperatura del tanc seguint l'esquema i el pseudocodi anteriorment exposat al punt 5.4.3.

Seguidament, es llegeix l'estat dels sensors i es declara si és situació d'alarma o no. Per exemple: si es llegeix que la temperatura és més alta que el llindar de temperatura, aleshores hi ha situació d'alarma de temperatura i per això es declara la variable "*alarmaTemperatura=1*". En cas contrari, si es llegeix una temperatura inferior a la del llindar, aleshores no hi ha situació d'alarma, per tant es declara que l'alarma de temperatura equival a 0 (*alarmaTemperatura=0*).

```
//Llegir l'Estat de la temperatura de l'aigua
if (temperatura >= llindarTemperatura){
    alarmaTemperatura = 1;
} else {
    alarmaTemperatura = 0;
}
```

Figura 44: Ampliació de la Figura 43 referent al codi void loop.

El mateix pels flotadors: si es llegeix que el circuit està tancat (HIGH), ja que els leds del PLC romanen encesos, significa que el nivell és correcte i per tant l'alarma de Nivell es declara com 0 (*alarma NivellBaix=0* o *alarmaNivellAlt=0*).

```
////Llegir l'Estat del flotador de nivell baix
if (digitalRead(flotadorBaix) == HIGH){
    alarmaNivellBaix = 0;
} else {
    alarmaNivellBaix = 1;
}

////Llegir l'Estat del flotador de nivell alt
if (digitalRead(flotadorAlt) == HIGH){
    alarmaNivellAlt = 0;
} else {
    alarmaNivellAlt = 1;
}
```

Figura 45: Ampliació de la Figura 43 referent al codi void loop.

Una vegada s'han llegit els sensors i s'ha determinat si és situació d'alarma o no, segons correspongui, aleshores s'executa el codi que efectuarà el control de la temperatura i del nivell del tanc i que per tant realitzarà actuacions en cas necessari, com obrir l'electrovàlvula per omplir el tanc o bé activar la bomba de buidatge per buidar-lo (Figura 46).

```
//PROCESAMENT INFORMACIÓ I PRESA D'ACCIÓ DE CONTROL:

//Control temperatura de l'aigua del circuit de refrigeració del condensador
if ((temperatura >= llindarTemperatura) and (alarmaNivellBaix == 0) or (alarmaNivellAlt==1)){
    digitalWrite(bombaBuidatge, HIGH);

    } else {
        digitalWrite(bombaBuidatge, LOW);
    }

if ((temperatura >= llindarTemperatura) and (alarmaNivellAlt == 0) or (alarmaNivellBaix==1)){
    digitalWrite(electrovalvula, HIGH);

    } else {
        digitalWrite(electrovalvula, LOW);
    }
}
```

*Figura 46: Ampliació de la Figura 43 referent al codi void loop.*

Aquesta última part del codi de la secció del void loop (Figura 46) està basada en el pseudocodi mencionat anteriorment al punt 5.4.3.



## ANNEX II

A continuació, es presenta el codi necessari per tal que el PLC es pugui connectar a Internet i enviï la notificació d'alarma en cas que el nivell d'escuma sigui molt elevat i una notificació quan s'hagi realitzat una acció correctora (programa basat en el repositori de Github PushingBox-for-Arduino de l'usuari Clement87 ([Clement87, 2015](#))).

En concret a la Figura 47, es mostra la declaració de biblioteques i variables necessàries per connectar-se a Ethernet i enviar la notificació en cas que el sensor de nivell detecti escuma:



```
✓ ↻ 📄 ⬆️ ⬇️ Verificar
PLC_notificacio $
//LLIBRERIA relays PLC
#include <MDUINO-Relay.h>

//LLIBRERIES PER CONNECTAR-SE A ETHERNET
#include <SPI.h>
#include <Ethernet2.h>

//VARIABLES NOTIFICACIÓ ALARMA
byte mac[] = { 0x00, 0xAA, 0xBB, 0xCC, 0xDE, 0x19 }; // Be sure this address is unique in your network

//Els DevID secret de PushingBox.com.
char DEVID1[] = "v534148966CA3E9A";
char DEVID2[] = "vD8688F9FF9AA488";

//El nom del servidor
char serverName[] = "api.pushingbox.com";

//PIN on es connecta el sensor d'escuma
#define sensorEscuma 3

// Debug mode
boolean DEBUG = true;
boolean lastConnected = false; // State of the connection last time through the main loop

//Variables estat nivell d'escuma
boolean alarmaEscuma;
boolean alarmaEscumaAnterior = 0;

// Inicialització de la llibreria Ethernet client
// amb l'adreça IP address i el port del servidor (per defecte el port 80 per HTTP):
EthernetClient client;
```

Figura 47: Codi de la declaració de variables necessari per connectar el PLC a la xarxa.

En primer lloc, tal i com s'observa a la Figura 47, es declara la llibreria MDUINO-Relay que serveix per relacionar cada relé extern a la carcassa del PLC amb el seu corresponent pin del *shield* Arduino que es troba a l'interior i que l'usuari no pot visualitzar.

En segon lloc, amb la finalitat que el PLC es connecti a Ethernet es declaren les llibreries *SPI*, *Ethernet2* i *EthernetClient* i es declara la direcció MAC, la qual ha de ser única. Seguidament, es declaren les variables necessàries per enviar la notificació mitjançant PushingBox via l'aplicació Pushbullet com els *DeviceID* el *DEVID* 1 per enviar la

notificació d'alarma i el *DEVID2* per enviar la notificació conforme s'ha realitzat una acció correctora), o el nom del servidor (api.pushingbox.com).

En aquesta part del codi també es declara el PIN d'entrada on es connecta el sensor d'escuma (PIN 3) i variables booleans (*alarmaEscuma* i *alarmaEscumaanterior*) que es fan servir en el *void loop* del codi.

A continuació es mostra el codi pertanyent al *void setup* per tal de iniciar la connexió a Internet (Figura 48):

```
void setup() {

  //NOTIFICACIÓ
  pinMode(sensorEscuma, INPUT);

  // Iniciar la connexió a Ethernet:
  if (Ethernet.begin(mac) == 0) {
    Serial.println("Failed to configure Ethernet using DHCP");
    // no point in carrying on, so do nothing forevermore:
    while(true);
  }
  else{
    Serial.println("Ethernet ready");
    // print the Ethernet board/shield's IP address:
    Serial.print("My IP address: ");
    Serial.println(Ethernet.localIP());
  }
  // give the Ethernet shield a second to initialize:
  delay(1000);
}
```

Figura 48: Codi programat al "void setup" per tal d'inicialitzar la connexió a Internet del PLC.

Al codi del *void setup*, s'inicia la connexió a Ethernet mitjançant la funció *Ethernet.begin*. També es declara com una entrada el sensor d'escuma (*pinMode(sensorEscuma, INPUT)*).

A la Figura 49 es mostra el codi del loop que farà enviar la notificació:

```

void loop() {
// LECTURA DE L'ESTAT DELS SENSORS:

//Notificació
//Llegir l'Estat del nivell d'escuma
if (digitalRead(sensorEscuma) == HIGH){
    alarmaEscuma = 1;
} else {
    alarmaEscuma = 0;
}

//PROCESAMENT INFORMACIÓ I PRESA D'ACCIÓ DE CONTROL:
//Notificació
if ((alarmaEscuma==1) and (alarmaEscumaAnterior==0)){
    sendToPushingBox(DEVID1); //enviar la notificació d'alarma al/s mòbil/s del/s responsable/s
    alarmaEscumaAnterior=1;
}

//DEBUG part
// Aquí s'escriu la resposta del servidor PushingBox
// Hauries de veure "200 OK"
if (client.available()) {
    char c = client.read();
    if(DEBUG){Serial.print(c);}
}

// if there's no net connection, but there was one last time
// through the loop, then stop the client:
if (!client.connected() && lastConnected) {
    if(DEBUG){Serial.println();}
    if(DEBUG){Serial.println("disconnecting.");}
    client.stop();
}
lastConnected = client.connected();

```

Figura 49: Codi programat al “void loop” per tal d’enviar la notificació d’alarma quan el nivell d’escuma és elevat.

En primer lloc, al codi del *void loop*, es llegeix l’estat del sensor d’escuma. En cas que el sensor detecti escuma (If *digitalRead(sensorEscuma)==HIGH*)) aleshores es guarda aquesta informació com “*alarmaEscuma*” i se li assigna un 1. En cas contrari, si el sensor no detecta escuma, la variable *alarmaEscuma* equival a 0.

En segon lloc, es processa la informació anterior i es decideix si cal enviar alguna notificació. En cas que el sensor hagi detectat escuma i per tant “*alarmaEscuma*” sigui igual a 1 i a més no s’hagi detectat anteriorment escuma (*alarmaEscumaAnterior==0*) aleshores es crida la funció “**sendToPushingBox(DEVID1)**” per enviar la notificació “*Alerta!!! Nivell alt de tanc!*” al mòbil de la persona responsable.

Cal esmentar que la declaració de variable *alarmaEscumaAnterior* és molt important, ja que si al codi no es declarés aquesta, aleshores s’enviaria constantment una notificació mentre el sensor d’escuma detecti nivell alt d’escuma, el qual podria provocar un col·lapse al mòbil de la persona que rep els notificacions, ja que rebria un gran nombre d’aquestes i molt seguides.

```

if ((alarmaEscuma==0) and (alarmaEscumaAnterior==1)){
    sendToPushingBox(DEVID2); //enviar la notificació conforme ja s'ha resolt la situació d'alarma
    alarmaEscumaAnterior=0;
}

//DEBUG part
// Aquí s'escriu la resposta del servidor PushingBox
// Hauries de veure "200 OK"
if (client.available()) {
    char c = client.read();
    if(DEBUG){Serial.print(c);}
}

// if there's no net connection, but there was one last time
// through the loop, then stop the client:
if (!client.connected() && lastConnected) {
    if(DEBUG){Serial.println();}
    if(DEBUG){Serial.println("disconnecting.");}
    client.stop();
}
lastConnected = client.connected();

```

Figura 50: Codi programat al "void loop" per tal d'enviar la notificació d'alarma quan s'ha realitzat una acció per resoldre el nivell elevat d'escuma.

Després, quan s'hagi realitzat una acció correctora i així doncs el sensor no detecti escuma i per tant "alarmaEscuma" sigui igual a 0, i a més anteriorment sí s'hagi detectat escuma (alarmaEscumaAnterior==1), aleshores es crida la funció "sendToPushingBox(DEVID2)" per tal d'enviar la notificació "Acció correctora implementada." al mòbil de la persona responsable.

```

//////////////////// FUNCIONS //////////////////////////////////////
//Funció per enviar el "request" a PushingBox
void sendToPushingBox(char devid[]){
    client.stop();
    if(DEBUG){Serial.println("connecting...");}

    if (client.connect(serverName, 80)) {
        if(DEBUG){Serial.println("connected");}

        if(DEBUG){Serial.println("sending request");}
        client.print("GET /pushingbox?devid=");
        client.print(devid);
        client.println(" HTTP/1.1");
        client.print("Host: ");
        client.println(serverName);
        client.println("User-Agent: Arduino");
        client.println();
    }
    else {
        if(DEBUG){Serial.println("connection failed");}
    }
}

```

Figura 51: Codi on es declara la funció necessària per enviar la notificació mitjançant PushingBox via l'aplicació Pushbullet.

Al final del codi, tal i com es mostra a la Figura 51, es declara al funció necessària per enviar la notificació mitjançant PushingBox: *void sendToPushingBox(char devid[])*

Cal dir, que s'ha comprovat que el codi funciona, que efectivament envia una notificació al mòbil tant si està bloquejat com desbloquejat.

Així mateix, també s'ha comprovat que més d'un dispositiu mòbil, que tingui la aplicació PushBullet descarregada i amb el correu [correo.nivel@gmail.com](mailto:correo.nivel@gmail.com) pot rebre la notificació. Aquest fet és interessant, ja que significa que més d'una persona podrà estar al cas de l'alerta.